

摘要

我国是毛纺生产大国（生产能力占全世界的六分之一），却不是技术先进的强国。近年来许多企业进口了大量的先进毛纺设备，但是在毛纺技术和管理上离国际先进水平尚有一定的差距。

随着世界科技发展和产业结构的调整，各主要毛纺织品生产国都越来越重视对原料合理利用及加工过程中质量预测和控制的研究开发，以降低原料和加工成本，缩短新产品的开发周期，提高企业的市场竞争能力。在毛纺加工流程中，纺纱是一个关键的工序。因为纺纱工序的耗资是整个毛条制造的3—4倍，而且织物的质量在很大程度上取决于纱线质量。因此，通过预测技术对毛纺厂改善纱线质量和纺纱性能具有非常重要的经济价值。而且，预测技术也是质量管理的高级手段之一。

本文作了大量的纯毛单纱拉伸试验，对其拉伸力学性能有了明确的认识。在此基础上，运用世界先进统计软件SPSS对66个批次的纯毛单纱建立了断裂伸长率的预测模型，并且分析了影响纱线断裂伸长率的主要因素。

随着人们生活水平的提高以及审美观念的转变，人们对服装舒适性要求也日益增加，弹性毛织物的开发正在国际国内服装面料市场兴起。全面衡量纺织品的弹性应包括：弹性模量；变形的恢复能力；断裂伸长率等三方面内容。弹性模量一般用于纯理论分析，变形回复能力的测试又比较繁琐，所以常常用断裂伸长率间接的表示其弹性。目前赋予毛织物良好弹性的方法主要有：加入弹性纤维；利用化学助剂进行弹性整理；纯粹通过工艺手段。加入弹性纤维获得毛织物的弹性难度较大：需要特殊的纺纱设备、需要对传统的生产加工工艺进行较大的调整、成品门幅不易控制、尺寸稳定性难以保证、生产质量波动较大等。运用弹性整理剂进行弹性整理的方法虽然不需要特殊的设备，但化学助剂的使用无疑增加了成本，延长了后整理工艺流程和整理时间，而且化学助剂的使用对人体有潜在危害，对纯毛织物的性能和风格也有一定的影响。

预测技术作为一种质量控制手段具有以下作用：预测纱线品质和纺纱性能，优化选择毛条，调整生产加工工艺。预测模型可以控制纱线的断裂伸长率来控制其弹性，以达到生产弹性良好的织物的目的。

关键词：断裂伸长率 回归分析 预测模型 预测技术 弹性 质量控制

Research on Prediction Technology of Break Elongation of Pure Australian Wool Yarn

Abstract

China is the largest wool processing country in the world, but not a technology advanced one. In recent years china has imported many advanced wool procession facilities, but the is still a gap from advanced countries as far as adoption of advanced technology and management skill are concerned.

With the development in science and technology and adjustment of the industrial structure of the world, every main woollen goods producing country pays attention to the research and development of the prediction of quality and control in the rational utilization of raw materials and processing course more and more, in order to reduce raw materials and process cost , shorten the development period of the new products , improve the market competitive power of enterprises. In the procedure of processing of the woollen, it is a key process to spinning. Because it's cost is 3-4 times of top manufacture, and the quality of fabric depends on the quality of yarn to a great extent. Thereby , predict technology has very important economic worth to improve the quality of the yarn and spinning performance to the woollen mill. And it is one of the quality control advanced means.

This paper has done a large number of pure wool form yarn tensile tests, and understood the yarn's drawing mechanics performance clearly. On this basis , use advanced statistics software SPSS to set up the prediction model of the breaking elongation of pure wool yarn from 66 batches, and analyse the main influencing factor of the breaking elongation.

With the improvement of people's living standard and transition of aesthetic standards, people require to the comfortableness of the clothing that increase day by day, the international fabric market is rising for the development of the elastic wool fabric . The weighing of the elasticity of fabrics in an all-round way should include : Elastic modulus; Recovery ability of shape change; breaking elongation , etc. The elastic modulus is generally used in the pure theory analyse , and the test of recovery ability of shape

change is more tedious, so often use the indirect expression of elasticity of breaking elongation. At present methods of enduing wool fabric with good elastic mainly are as follows : add the elastic fiber; elastic finish by chemical agent ; by the process means completely. It is greater difficult to obtain wool fabric elasticity of elastic fiber: need special spinning equipment, need processing technology bigger adjustment , product door breadth froward, size stability difficult to guarantee, quality of production fluctuation getting heavy. Though using chemical agent does not need special equipment, the use of the chemical agent undoubtedly increases the cost, prolongs the process, endangers the human body potentially, and has certain influence on the performance and style of pure wool fabric.

Predict technology has the following function as a kind of quality control means: predict yarn quality and spinning performance, optimize top, adjust processing technology of producing. Predict the elongation of the yarn in model controls its elasticity, in order to achieve fabric with good elasticity.

Keywords: break elongation regression analyze predict model predict technology elasticity quality control

1 绪 言

我国毛绒生产和加工有非常悠久的历史。但我国近代毛纺工业是从1880年用引进技术在甘肃兰州建立粗纺厂开始的,精梳毛纺织则在20世纪30年代在利用进口毛条的基础上诞生的。70年代以后,我国毛纺织工业进入蓬勃发展时期。到九十年代,我国毛纺织工业已经形成企业组织形式多样化、产品门类齐全、生产能力遍布各地、机械设备大部分可国产配套的生产系统,包括毛条制造、精梳毛纺织、粗梳毛纺织、毛线、毛毯、毛针织、人造毛皮、工业用呢等多种门类。我国的毛条加工、纺纱、织造加工能力均列世界首位,洗毛能力列世界第三位,毛纺工业在国际毛纺行业占有重要位置。同时我国又是世界上最大的羊毛进口国。我国毛纺织工业从1903年到1949年共建设了13万锭,而1995年我国纺锭已达395万锭,年需用纺织原料70万吨,年需各种净毛绒纤维至少25万吨。纤维来源不足部分每年尚需进口毛绒10万吨才能满足生产需要,进口的毛绒纤维以澳毛为主^[1-3]。

1.1 本课题研究的目的是和意义

我国是毛纺工业大国,却不是强国,究其原因如下^[4]:

- (1) 毛纺原料还未进行科学管理;
- (2) 质量管理检测较落后,纱疵织疵较多(1万锭200台织机的修呢工我国500人,国外先进只需22人。);
- (3) 产品开发思路不广;
- (4) 设备陈旧,对近年引进设备未组织消化吸收。

随着世界科技发展和产业结构的调整,各主要毛纺织品生产国都越来越重视对原料合理利用及加工过程中质量预测和控制的研究开发,以降低原料和加工成本,缩短新产品的开发周期,提高企业的市场竞争能力。

我国毛纺工业在生产质量管理上大多尚未摆脱经验控制模式,缺乏较为科学、系统的预测方法和技术,往往由于缺乏对于纱线质量需求与纤维性能之间内在关系的精细了解,致使纤维性能过高或过低而难以满足加工、成本和质量要求的情况时有发生,或在采用新材料时使某些性能得以改进,而使另一些性能却下降了,或开发成本高、或质量难以稳定、或加工过程对原料的适应期长等等。“优毛优用”、“经济合理”的原则得不到很好的实施,浪费了许多宝贵的资源和资金。澳毛品质指标对成纱断裂伸长的影响的精细研究可以促进毛纺织企业优化原料结构、降低原料成本;优化工艺制定;提高质量控制水平和稳定产品质量。因此,该研究受到企业的普遍关注,市场前景很好,具有良好的经济效益和社会效益。

1.2 预测技术研究现状

原料纤维的性质及纺纱工艺参数对纱线性能有着很大的影响。如果能够根据原料的品质指标和机器工艺参数对纱线质量进行预报,完成纱线的虚拟加工,并判断纱线质量是否满足后道工序的要求,就可以避免纺制小样产生的时间延误和原料浪费,并能大大提高纺织企业对市场的反应速度。纺纱质量预报能高效的为企业实施快速反应战略提供保障。而且,预测技术是质量管理的高级手段之一^[5]。

1.2.1 Yarnspec 预测技术

澳毛品质指标诸如细度、细度离散、长度、长度离散、卷曲率、纤维强力、强力离散、草杂含量、断裂位置及百分率等对成纱强力和断裂伸长的影响,国内定性的描述比较多,而具体的量化的描述相对比较少。澳大利亚羊毛检测局(AWTA)和澳大利亚联邦科学与工业研究组织(CSIRO)在多年来的对澳毛性能进行客观评价和客观检验的研究和测试基础上,于20世纪80年代率先开发出以多元线性回归统计技术为基础的“TEAM”公式(trials evaluating additional measurement)用来预测毛条加工性能和质量,1985年又改进完善为TEAM-2公式,并在世界各国得到了较广泛的应用。在此基础上,澳大利亚CSIRO开发出澳毛条加工质量预测系统和纺纱质量预测系统(Topspec和Yarnspec),其中Yarnspec是针对西欧等几个厂家的先进生产设备、先进的生产管理条件下完成的,被构想为最理想状态下的加工水平模型,这一模型在用于某一特定厂家时,必须进行模型修正才能得以准确使用。理想模型在一些欧洲厂家得到应用,预测值与实测值的拟合优度判定系数即预测精度据介绍分别为:细纱条干不匀率和千米细节数95%左右,细纱千米粗节数、单纱强度及伸长85%左右,细纱断头率60%左右。澳大利亚新近的研究表明,这些预测技术还需进一步通过工业试验和毛纤维性能的精细研究,可进一步完善预测技术^[6-7]。

澳大利亚现有的Yarnspec预测技术,是针对澳毛及西欧国家先进生产技术条件研究开发的,还不能完全适应我国毛纺生产的现状,有待于结合国情进一步研究开发。Yarnspec在中国毛纺织厂的使用中主要存在以下不足:

(1) 中国许多毛纺织厂使用的设备、助剂与国外有较大差异,工艺制定及生产管理也不相同,造成Yarnspec直接使用时会有较大的修正系数,最终导致它们使用的预测准确度不高。

(2) Yarnspec软件刚刚进入中国,由于知识产权方面的问题,也仅为个别企业提供了试用软件,目前正在进行试验对比探索,在中国毛纺织厂应用还有待进一步研究。

(3) 有一些纺纱指标没有进行预测。

(4) Yarnspec软件没有考虑毛条总的短纤维含量(30mm以下)对成纱质量的影

响,纤维束强也只是近似值,前纺的重要工艺考虑也不够。

1.2.2 人工神经网络预测技术

人工神经网络(Artificial Neural Network, ANN),简称神经网络,是基于人们对人脑组织结构、活动机制的初步认识而建立起来的新学科,其目的在于模拟大脑的某些机理与机制,实现某方面的功能^[8-10]。它涉及生物、电子、计算机、数学和物理等学科,有着非常广泛的应用前景。纺纱是一道非常重要的工序,对后道的织造效率及最终的布面质量都有很大的影响。但由于纺纱工艺流程复杂、影响因素众多,且因数之间相互关联,很难用传统的方法对纺纱质量进行准确的预测。近年来出现了许多利用神经网络来预测纺纱质量的研究成果。M. C. Ramesh 等人利用神经网络技术在气流纺纱中预测纱线的拉伸特性; Luo cheng 和 Rangaswamy Rajamannickam 等人使用神经网络建立纤维特性与纱线强力的对应关系,从而实现纱线强力的预测; F. PynckelS 等人利用神经网络技术,根据预期的纱线指标来确定纤维的可纺性; 东华大学的王侃枫等人通过神经网络预测精梳毛纺纱线的质量,包括粗节、细节、细度不匀、强度、断裂伸长等指标,结果表明还需要进一步研究以提高预测的精度^[11-22]。

现在的研究主要集中在对样本数据的预报,预报准确性是很高的,但是离实际的运用还是有距离。主要存在以下问题^[23]:

(1)考虑的影响因素过多,网络过于复杂,大量数据训练时间很长、误差较大,且不易收敛,体现不出神经网络快捷的优点,且不易翻改品种;

(2)训练数据中必须包含最值,但在实际中很难保证,导致了误差的增大,且在微小变化时就需要重新训练,很不方便;

(3)没有直观的操作界面,无法进行大量数据及各种模型的保存和读取,且需要使用专业软件(如MATLAB),不方便一般技术人员使用。

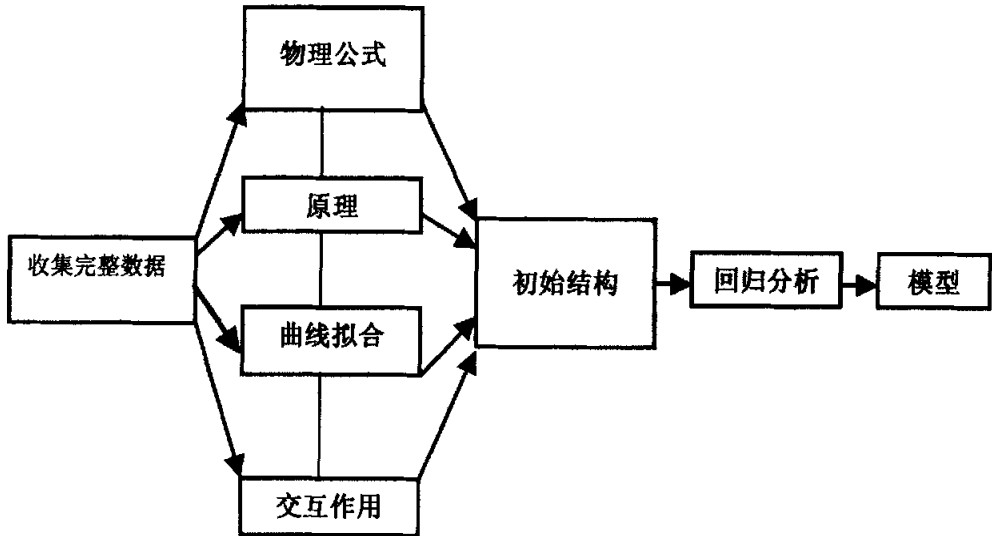
1.2.3 灰色系统模型

灰色系统是部分信息已知、部分信息未知的系统。灰色理论基于关联度收敛原理、生成数、灰导数、灰微分方程等观点和方法建立微分方程模型,能更好地描述系统内部的本质。灰色系统理论用灰色模块建模,而不直接用原始数据序列,而是从原始数据中去寻找这种内在规律。其将所有随机变量看作是一定范围内变化的灰色量,将随机过程看成一定范围内变化的、与时间有关的灰色过程,用数据处理的方法,将杂乱无章的原始数据整理成规律较强的生成数列再进行研究。该方法的不足之处是没有物理原型,不清楚系统的作用机制,很难判断信息的完备性,只能凭逻辑推理、某种观念意识、某种准则对系统的结构、关系进行论证,然后再建立某种模型。而这些模型只能看作是原系统的代表、同构,由于模型不是唯一的,这种代表或同构就只能在某一方面、从某一角度、在某一准则下成立^[24-26]。陈东生等人建立了纱条不匀灰色预测

模型,对纱条的不匀异点^[26]和短片段不匀^[27]进行了预测,并对该模型进行了精度检验,并具有良好的预测精度。该预测模型同时也存在着亟待改善之处,首先,影响纱条不匀的因素很多,随着工艺或者原料的变化,都有可能发生变化,因此,随着时间的推移,应不断剔除旧数据,建立新信息等维模型,使预测值经常与实际值相符。该模型仅对纱条不匀作了预测,对纱线性能的预报尚无报道。

1.3 研究思路和方法

本课题的研究是在收集大量工业数据的基础上,按纱支分段进行建模以提高预测精度。研究中对数据进行了标准化,独立化处理,用曲线拟合对数学模型的构架进行了分析,对每一个输入参数的影响程度进行了分析,对输入参数间的交互作用进行了对照分析,建立了数学、物理模型,用统计方法确定模型中的系数,力求得到拟合优度高的非线性数学模型。建模步骤如下图:



2 羊毛纤维的结构和性质

羊毛纤维是人类最早开发利用的服装用纤维之一。作为天然纺织原料，羊毛纤维具有许多其它纤维无法比拟的优良特性，其光泽柔和，富有弹性，有良好的保暖性、吸湿性、不易玷污，这些性能使毛织物具有各种独特的风格。在陕西西安半坡原始社会遗址(距今 6100 年)中已有小型牲畜围栏，其性质和遗骨最可能的是羊。而各原始公社遗址出土的石纺轮、陶纺轮、陶器底饰布纹压痕等证明距今 6000~8000 年前已有比较细密的织物。浙江河姆渡原始社会遗址(距今 7000 年)也有纺织工具和织物的遗存，并且有利用毛毡的痕迹。在中亚和北非一带出土的古代巴比伦和古代埃及的考古文物中，也说明距今 5000—6000 年前已经将毛毡作为服装材料的利用具有相当大的覆盖面。在距今 2000 年以前，古代希腊人和古代罗马人已经选育出具有松软而多卷曲毛毡的绵羊品种。麻、毛、丝、棉作为最重要的天然纺织原料养育人类、伴随着人类整个原始时代、直到现代文明时期，其中毛毡纤维一直占据着非常重要的位置^[3]。

2.1 羊毛的形态结构^[28]

羊毛纤维由三部分组成：包覆在毛干外部的鳞片层，组成羊毛实体的皮质层和位于毛纤维中心的髓质层。羊毛的形态结构如图 2-1 所示。

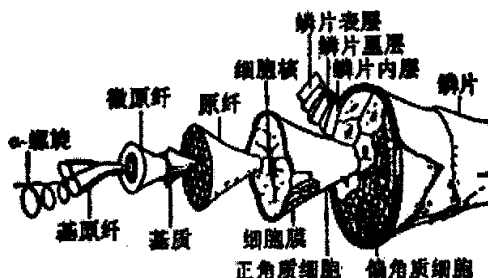


图 2-1 羊毛的形态结构

鳞片层由角质化的扁平状蛋白细胞组成，平均厚度 0.2—2 微米，宽度 25—30 微米，似鱼鳞状重叠覆盖。鳞片层的主要作用是保护羊毛不受外界条件的影响而引起性质的变化。鳞片排列的疏密和附着程度，对羊毛的光泽和表面性质有很大的影响。鳞片层的存在使羊毛具有定向摩擦效应。

皮质层是羊毛纤维的主要组成部分，是决定羊毛物理化学性质的基本物质。从纤维的横截面观察，皮质层由两种不同的皮质细胞，一种为结构较疏松的正皮质，一种为结构较紧密的偏皮质。在细羊毛中正皮质和偏皮质分别居于纤维的两边，形成双侧结构。双侧结构的存在使羊毛具有卷曲。

髓质层是由结构松散和充满空气的角蛋白细胞组成，细胞间的相互联系较差，在

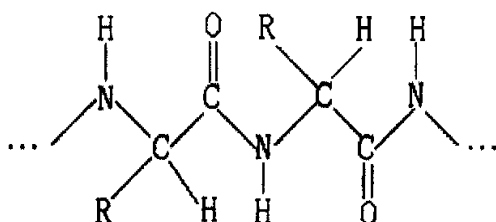
光学显微镜下观察，髓质层呈暗黑色。髓质层含量的多少，视毛的类型不同。细绒毛无髓质层，较粗的毛中有髓质层。含髓质层多的羊毛脆而易断，不易染色。

2.2 羊毛的化学组成和分子结构

羊毛纤维大分子是由多种氨基酸组成的。这些氨基酸缩聚而形成羊毛角质线型大分子，呈螺旋状，叫 α -螺旋，分子中的亲水基团大部分分布在螺旋周围。有些带碱性的赖氨酸和精氨酸以及带酸性的天门冬氨酸和谷氨酸，则可使 α -螺旋间形成盐式键结合，而胱氨酸则可使 α -螺旋之间形成二硫键共价结合，使羊毛角质大分子形成网状结构。

羊毛的大分子之间依靠分子引力、盐式键、氢键、二硫键等相结合，形成较稳定的空间螺旋状态，称为 α -角蛋白。

羊毛角朊大分子是由许多种 α -氨基酸用酰胺键（又称肽键）联结构成的多缩氨基酸链为主链，其构成如下：



构成纤维大分子的主链节、基团、甚至每个原子在平衡状态下，各自在三维空间中均有一个稳定的相对位置，当其受到外力或热的作用时，大分子中部分链段的单键能够绕其相邻的键按一定的键角旋转。这种一定条件下，长链分子发生内旋的难易程度，称作大分子的柔曲性。一般地，大分子的柔曲性好的纤维，其可挠性、弹性就好；而大分子的柔曲性差的，纤维的柔曲性、弹性就差。大分子的柔曲性主要取决于大分子主链上原子键本身的弹性、单基的化学组成及结构、单基间的联结方式（键的种类）等因素。

羊毛角朊大分子主链没有环状结构，尽管分子内能形成一定的氢键，但氢键的数量不像纤维素大分子那样多，因而制约少，大分子链内旋容易；同时，由于主链上有许多孤立双键，双键的存在有利于单键的内旋转，从而增强了角朊大分子链的柔曲性。再者，就原子键本身的弹性而言，它取决于键的种类——键长、键角等因素。键长、键角大的内旋转容易，柔曲性好，反之，柔曲性差。羊毛大分子主链上的原子键的键长较大，故羊毛纤维大分子内旋转较易，弹性好。

2.3 羊毛大分子的空间构型

羊毛纤维大分子的空间结构形式有两种，一种是线型的曲折链，一种是螺旋链，其中最普遍的是 α -螺旋链，称为 α -角蛋白。根据X射线衍射图像分析，羊毛角朊大分子链的构型为 α -螺旋结构，见下图。由图可见，羊毛角朊大分子链呈“弹簧”状构型，这种特殊的构型，使得羊毛角朊大分子主链在分子热振动中，有自然回缩至低能位的趋势。再者，由于分子内氢键存在，当受拉力时，分子链必然沿基轴向伸长，随着变形的增加，各原子或基团间的距离变大，位能变大，氢键形成的可能性减弱；在外力撤去后，由于分子链有回缩降低位能的趋势，于是分子链又在本身位能的作用下沿轴向收缩，使原子或分子团间的距离变小，使氢键又逐渐形成，而氢键的形成加速了分子链的回缩，因此表现出良好的弹性。

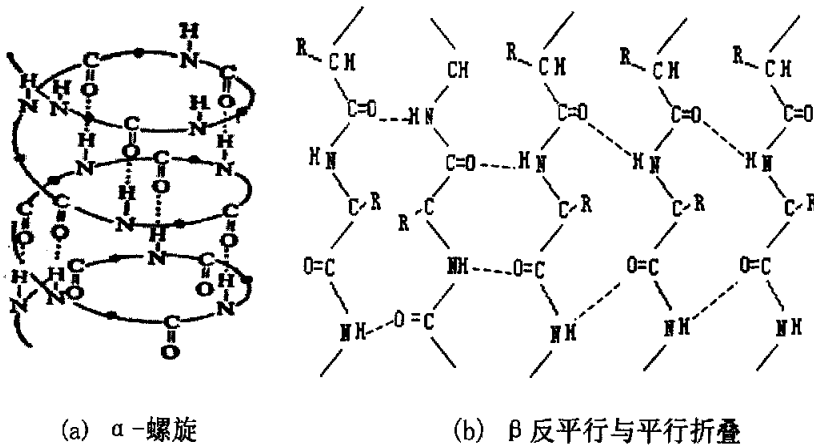


图 2-2 大分子的空间构象

2.4 羊毛的拉伸

与其他纺织纤维相比，羊毛的拉伸特性以强度低和伸长率大为主要特点，后者在断裂功方面部分地弥补了强度低的不足。羊毛的初始模量为 $1-3\text{cN/dtex}$ ，是纺织纤维中较低的。羊毛的拉伸回复弹性良好，小变形（2%）时的拉伸回复达99%，从而使羊毛织物穿着时具有良好的保形性。图2-3为羊毛纤维的典型拉伸图。

曲线上的a点为断裂点，对应的拉伸应力为断裂应力，b点称为屈服点，这一点对应的拉伸应力叫屈服应力。拉伸开始阶段（Ob段），纤维大分子主链保持空间皱曲状态的结合力如氢键、盐式键等伸长，到达屈服点时，大分子空间结构开始转变，羊毛角蛋白螺旋大分子螺距中的氢键开始被拉断，或者一些纤维的结晶区相邻大分子开始错位移动等。在曲线bc段，弹性模量显著下降（斜率变小），到达曲线c点时，羊毛已由 α 角蛋白转变为伸展曲折链的 β 角蛋白（图2-2(b)），使相邻大分子互相靠近，分子间横向结合力有所增加。再继续拉伸，则表现为大分子间结合的氢键、盐式

键的伸长和大分子主链价键的伸长，所以模量又有增高（斜率变大）。最后大分子间横向联结被拉开（部分大分子从结晶区抽拔出来），部分大分子主链被拉断，造成羊毛纤维断裂。

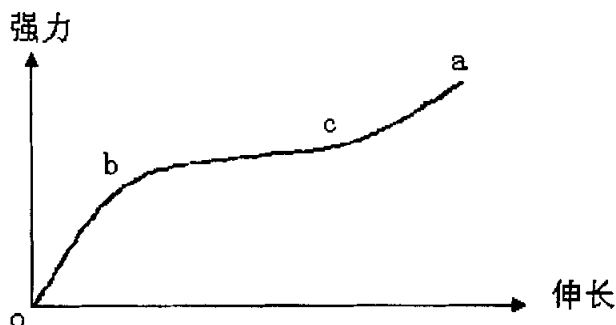


图 2-3 羊毛纤维的拉伸曲线

2.5 羊毛弹性的表征^[26]

弹性特征是纺织纤维的一项物理机械性能。在常规纺织纤维中羊毛的弹性优良，它仅次于锦纶。材料的弹性表现为易于变形和易于恢复，用弹性好的纤维生产的织物保形性、耐用性好，因此羊毛织物挺括、耐磨。

纤维弹性是纺织纤维的一项重要力学性质，全面衡量纤维的弹性应包括：（1）纤维的弹性模量；（2）变形的恢复能力；（3）断裂伸长率等三方面内容。纤维的弹性对纺织品的耐磨性、抗折皱性、手感、尺寸稳定性、耐冲击性能和耐疲劳性能等密切相关。绝大多数纺织纤维是线性高分子链，在无定形区，高分子链的构象变化是不自由的，分子链段的变形受到相邻分子链间次价键力的作用。纤维受拉伸力作用后产生的变形除有胡克体材料的普弹形变和类似橡胶类材料的高弹形变外，还有随着时间逐步恢复的缓弹性变形和不能恢复的塑性变形。

2.5.1 弹性模量

实际纺织纤维极少可能是纯粹的单相结构，通常是结晶结构以小区域为单位分散于无定形基体中或以原纤结构与无定形基体相互交替的混杂在一起。由于实际纺织纤维结构的千差万别，其变形是相当复杂的。有些纤维接近于橡胶型结构（如氨纶纤维），有些纤维较多地接近于符合胡克定律的结晶型结构，如麻、芳纶、碳纤维等，而绝大多数纤维则介于它们之间。

纺织纤维的变形是长链大分子键长、键角的改变和分子链段伸缩运动的综合结果。对纺织纤维弹性模量的严格定量理论计算是较困难的，赫尔（Hearle）对天然纤维素纤维或高强度纤维进行了理论估算。

2.5.2 纤维的变形恢复能力

纤维的变形恢复能力，是指纤维承受负荷后产生变形，负荷去除后，纤维具有恢复原来尺寸和形状的能力，简称回弹性或弹性。

(1) 纤维回弹性的指标

纤维变形的三个组成部分可以由拉伸试验机测得的一次拉伸循环回复曲线中求得，从纤维的恢复性试验曲线中（图 2-5）可以得到两个表示纤维弹性回复性能的两个指标：

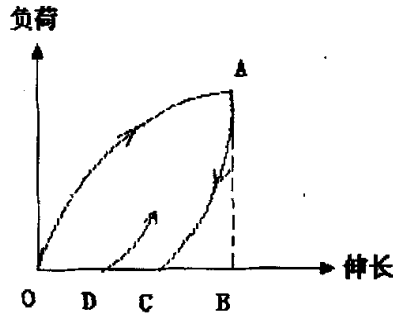


图 2-5 纤维的回弹性试验曲线

$$\text{弹性回复率 } R (\%) = \frac{\text{纤维变形的可恢复部分}}{\text{纤维的总变形}} \times 100\% = \frac{BC + CD}{OB} \times 100\%$$

式中，BC 为急弹性伸长，CD 为缓弹性伸长。

$$\text{弹性功率 } W (\%) = \frac{\text{面积 } ABC}{\text{面积 } OAB} \times 100\%$$

式中，面积 ABC 是回复曲线下的面积；面积 OAB 是拉伸曲线下的面积。

(2) 纤维弹性的分子机理

从分子水平上说，可回复的弹性变形是拉伸分子内或分子间结合键的作用，不可回复的塑性变形是由于结合键的断裂，在新位置上形成新的结合键。

具有长链分子的纤维除了键长、键角的变化外，还有分子链的构象变化，机理要比上述模型复杂的多。当拉伸纤维时，分子链上主价键和链间的次价键都产生了变形，并伴有部分次价键的断裂，当新的次价键重新形成时发生了能量的损耗和应变硬化现象。当外力去除以后，未断裂的次价键以及主链上的主价键有促使纤维回复原状的作用，但它将受到新形成的次价键的阻力作用，变形的结果是除了产生急弹性变形和部分能回复的缓弹性变形外，还将留下不可恢复的塑性形变。因为缓弹性和塑性形变是在外力场作用下通过链段运动达到的，所以纤维的变形及其弹性回复具有时间依赖性。

(3) 三部分变形的变化规律

由于急弹性和缓弹性变形的相对大小不同,对纤维制品的性能影响是不同的。苏西契和贝契尔对多种纤维和纱线进行了三部分变形的测试,得到在不同伸长率及负荷下各种变形的比例,总结规律如下:在低负荷时,总伸长中急弹性占主要部分,大部分纤维的急弹性伸长占总伸长的比例保持不变,在屈服点和断裂点之间,急弹性变形所占的百分比随负荷的增加而减小,大部分纤维都是在屈服点附近,急弹性变形的降低率较大,以后逐渐减慢。塑性变形在屈服点处出现,至断裂负荷时,塑性变形的百分比增加达到最大。

(4) 影响纤维弹性的因素

纤维结构的影响:羊毛纤维弹性较好,是由于羊毛大分子链呈螺旋结构,并有二硫键的作用是使分子链间组成交联网络,不易产生塑性流动。如果纤维大分子间具有适当的结合点或交联点,结合点间的大分子链又有较大的局部流动性,则其弹性就好。局部流动性主要取决于大分子链的柔曲性,湿度的结合点取决于结晶度和极性基团的情况。羊毛和涤纶纤维大分子链柔曲性较好,具有良好的弹性。就回弹性而言,玻璃纤维要优于羊毛和涤纶,但其中绝大部分为急弹性形变,因其断裂伸长率低(3%左右),所以也感觉不到玻璃纤维具有优良的弹性。因此,纤维的弹性好应包括纤维的弹性回复率高和断裂伸长率大两项内容。

温度和相对湿度的影响:温度和相对湿度对纤维弹性回复率的影响较为复杂,纤维的弹性回复率随着温、湿度的升高或降低的变化规律是不一致的。

2.5.3 断裂伸长率

在拉伸力作用下,材料一般要伸长。纤维或纱线拉伸到断裂时的伸长率,称为断裂伸长率,用 ϵ 表示,单位为百分数。

$$\epsilon = \frac{\text{试样拉断时的长度} - \text{试样原长}}{\text{试样原长}} \times 100\%$$

表征弹性的三个指标中,弹性模量一般用于纯理论分析,变形回复能力的测试又比较繁琐,所以常常用断裂伸长率间接的表示纤维或纱线的弹性。

3 纱线拉伸力学性能测试

随着人类文明的进步和物质技术水平的提高,人们由纺坠纺纱到现在的高速气流纺纱,纱线的力学性能仍是最被重视的。力学性能在纺织工业中一直是基本的试验分析对象,可用于质量管理中,去比较各道工序的工作效率以及在确定绝大多数纺织品最终用途时的指南。尽管纤维性能从根本上影响了纺织品的性能,但是对织物性能起决定作用的是作为纤维和织物中介的纱线的性能。

纱线作为纤维的一维集合体,织物的基本结构单元,对织物的强力、手感、外观起决定作用。其力学性能历来为纺织学家所重视。纱线的力学性能主要包括以下几个方面:1、拉伸;2、压缩;3、弯曲;4、扭转;5、疲劳;6、摩擦和抱合。在纺织材料学实践中,人们一直广泛应用拉伸特性来检验力学性能。由于纱线具有细而长的特征,在外力作用下破坏时,主要和基本的方式是被拉断,因而,在纱线的力学性能中,研究拉伸特性最有意义。纱线拉伸性能的研究起步最早,研究得最为成熟,测试手段最为先进。在此方面,许多权威性著作都有论述。

3.1 试验设计

3.1.1 测试原理

在一定参数的作用下,通过一定的加载方式给纱线加力,拉伸至断裂。通过适当的机械装置或者电子装置指示断裂强力和伸长。

纺织材料测试仪器的测力方式有很多,主要有以下三种:

1. 等速牵引(CRT)型:纺织材料在拉伸过程中,主动牵引部件(夹持器)的位移与时间成正比。
2. 等加负荷(CRL)型:纺织材料在拉伸过程中,其受力的大小与时间成正比。
3. 等速伸长(CRE)型:纺织材料在拉伸过程中,其伸长量与时间成正比。

目前,这三种类型的纺织测力仪器都在使用,但是等速伸长型测力仪逐渐占据主导地位,本文的试验就是使用等速伸长型测力仪。

3.1.2 影响强力和伸长量测试的因素

在强力和伸长量的测试过程中,存在着许多可能影响测试结果的因素,剔除纱线本身的影响,主要影响因素如下:

1. 夹持长度:纱线的夹持长度是指纱线被夹持在上下夹持器之间的直接参与试验部分的长度。一般而言,纱线上各处抗拉伸的能力是不同的,特别是短纤维纱线更是如此。纱线强力仪测试的结果并不是夹持长度内各处强力的平均值,而是强力最低

处的值，也就是纱线的断裂发生在纱线的最弱处。随着夹持长度的增加，纱线薄弱环节出现的概率也就增加，因此，多次试验的平均断裂强力也将下降，这一概念也称为纱线的弱环定理。

从这一概念可以推断，纱线断裂强力的变异系数越大，平均断裂强力因夹持长度的增加而下降得越多。

2. 拉伸速度：对纱线来说，高速拉伸测试比较符合纱线在生产过程中受力的状况，然而目前纱线强力试验的标准一般规定断裂时间为 20 秒，即 20 秒左右达到断裂，拉伸速度较低。这是由于制定标准时的纱线强力仪受运动部件惯性的限制，拉伸速度不能太高的缘故。现在的纱线强力仪的拉伸速度已经超过 5000mm/min，断裂时间甚至小于 1 秒。因此，研究高速拉伸已经成为可能。

对于所有的短纤维纱线来说，断裂强力随着拉伸速度的增加而增加。对于纯纺纱线，纱线强力随着拉伸速度增加的程度取决于纤维的类型，而对于混纺纱线，还与其中的化学纤维的比例有关。断裂伸长率则随着拉伸速度的增加而增大，有的减少，其相对变异一般也比断裂强力的相对比例大。

3. 环境温湿度：纱线的强力和伸长率受纱线内水分含量的影响，几乎所有的纱线都会从周围环境中吸收水分，因此，其含水量不仅取决于纤维的类型，而且还与环境的温度和相对湿度有关。所以，保持测试环境温湿度的稳定是使强力和伸长率的测量结果具有重现性重要条件之一。

环境温度明显地影响大气中水分的含量。当相对湿度保持为 65% 时，如果室温从 0℃ 上升到 50℃，每立方米空气中的含水量将增加 30 多倍。十分明显，处在这样环境中的纱线，其水分含量也会有很大的变化。因此，在进行纱线强力试验时，不仅要考虑环境的相对湿度，而且还要注意环境的温度。纱线强力试验的方法标准规定试验应在温度为 20℃、相对湿度为 65% 的条件下进行。当纱线从外界进入实验室以后需要放置一段时间，使纱线与实验室的温湿度条件平衡。

纱线的吸湿性越强，随着相对湿度的变化，断裂强力的变化也越大。随着相对湿度的增加，天然纤维素纤维的纱线的断裂强力相应增加，而再生纤维素纤维的纱线和动物性毛纱的断裂强力则相应减少。所有吸湿性纤维的纱线的断裂伸长都随着相对湿度的增加而增加，其增加的程度或多或少地与纤维的吸湿性成比例。

4. 预加张力：在一定的夹持距离下，纱线实际被夹持的长度与预加张力的大小有直接关系，因此，预加张力也会直接影响纱线的断裂伸长率。为了保证断裂伸长率测试结果的再现性，正确设定预张力是十分重要的^[30]。

纱线在预加张力的作用下不会产生不可恢复的永久性形变，这是因为纱线在开始形变时有一个可恢复性的弹性形变范围（图 3-1），而强力试验的方法标准规定的预加张力又比较小的缘故。在预加张力的作用下，纱线从 A 点开始拉伸，断裂伸长率

为 $E_{\max} = E + \Delta E$ 。如果在施加预张力时（例如引纱过程中）纱线已经受到一个足以使其超出弹性形变范围的力（图 3-1 中的 B 点），那么即使纱线的受力仍恢复到预张力值，纱线也已产生永久性形变（图 3-1 中的 C 点），此时，纱线从 C 点开始拉伸，断裂伸长率为 E 。因此，不仅要正确设定预张力值，而且还要注意施加预张力前纱线的受力情况。

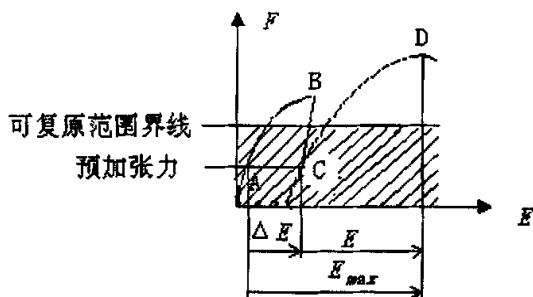


图 3-1 纱线所受张力对断裂伸长率的影响

5. 夹持器：夹持器的作用在于夹持被测纱线，其性能的优劣直接影响纱线强力的测试。一方面，夹持器应能有效的夹持纱线，以免在拉伸过程中试样打滑；另一方面，夹持器在夹持试样时又不应使纱线产生损伤，以免在拉伸过程中试样在夹口处被夹断。无论是打滑，还是夹断都将严重影响断裂强力和断裂伸长率的测试结果。

3.1.3 试验内容

测试仪器采用南通宏大 HD021N 电子单纱强力仪，属于等速伸长型。

纱样由山东如意集团提供，分别为 10.93tex (845 捻/m)，16.67tex (730 捻/m)，17.86tex (665 捻 /m)。

试验条件：65%RH，20℃。

试验步骤：平衡试样：将试样在恒温恒湿室平衡 24 小时。

测试：由强力仪操作

记录：系统自动打印。

测试内容：不同细度、捻度纱线的拉伸力学性能

3.2 测试数据及分析

3.2.1 16.67tex 纯毛纱的测试与分析

用南通宏大的 HD021N 电子单纱强力仪测试 16.67tex 纯毛纱的拉伸力学性能，共计 30 次，试样夹距 500mm，拉伸速度 500mm/min，测得的数据用 excel 统计并作图。

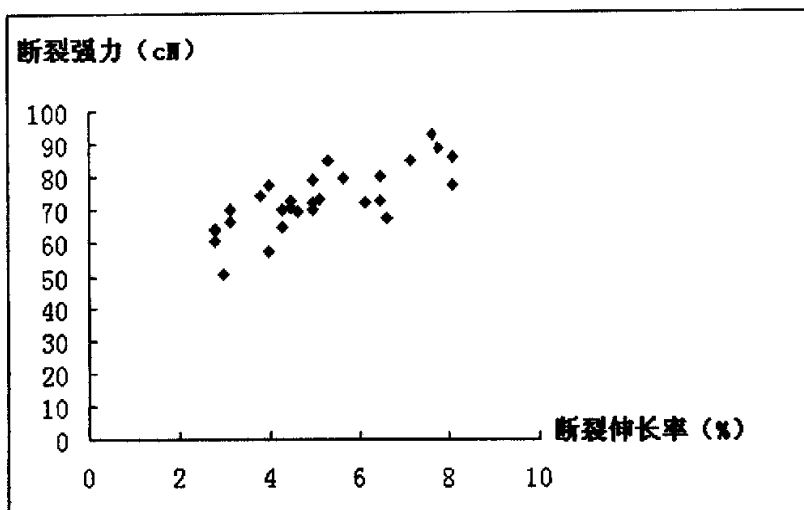


图 3-2 16.67tex 纯毛纱断裂强力与断裂伸长率的散点图

图 3-2 为断裂强力与断裂伸长率的散点图，对这些试验点进行回归，回归方程为一直线： $y=51.281+4.284x$ ， $R^2=0.571$ 。断裂强力与断裂伸长率近似成线性增加关系，两者相关性较高，纱线拉伸性能良好。

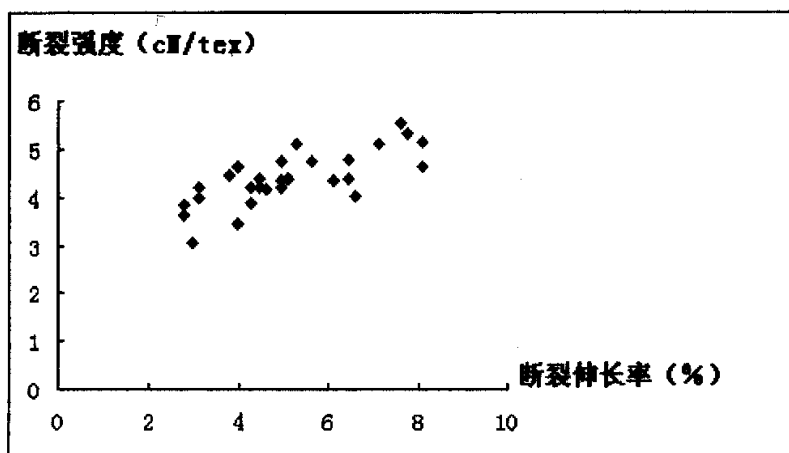


图 3-3 16.67tex 纯毛纱断裂强度与断裂伸长率的散点图

图 3-3 为断裂强度与断裂伸长率的散点图，对这些试验点进行回归，回归方程为一直线： $y=3.067+0.257x$ ， $R^2=0.571$ 。断裂强度与断裂伸长率近似成线性增加关系。纱线断裂伸长率的最大值为 8.08 (%)，最小值为 2.80 (%)，极差为 5.28 (%)；断裂强度的最大值为 5.54(cN/tex)，最小值为 3.05(cN/tex)，极差 2.49(cN/tex)。

3.2.2 同一细度不同捻度纯毛纱的测试与分析

用南通宏大的 HD021N 电子单纱强力仪测试不同捻度的 16.67tex 纯毛纱的拉伸力

学性能，每组 30 次，取其平均值，试样夹距 500mm，拉伸速度 500mm/min，测得的数据用 excel 统计并作图。

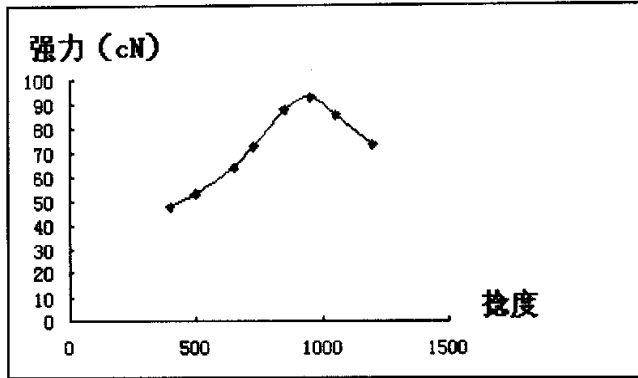


图 3-4 纱线强力与捻度的关系

由图 3-4 可知，强力一开始随着捻度的增加而增加，捻度到达一极限值以后，继续增加捻度，强力反而下降，该界限值就是临界捻度。加捻作用使纱线中纤维间摩擦力增大和纱线强力不匀率的降低，都是使纱线强度增加的因素。所以在一定范围内，纱线的强力随着捻度的增加而增加。另外，纱线加捻作用使纱线中纤维产生了预应力，同时使纱中各层纤维与纱轴成不同角度，使纤维强力的轴向分力变小。这两个因素，使纱线的强力随着捻度的增加而减小。加捻作用对纱线强力的影响，就是以上两个方面的对立统一。在捻度较小的条件下，加捻作用主要表现为改善纱线的强度不匀率，和减少纱线断裂时的滑脱纤维根数。因此，纱线强力随着捻度的增加而增大。当捻度达到某一数值（临界捻度）后，加捻作用主要表现为增加纱中纤维的预应力，减少纤维强度的轴向分力，于是纱线强度随捻度的增加反而下降。

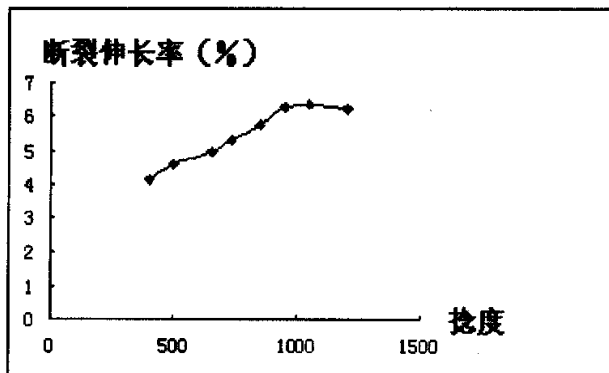


图 3-5 纱线断裂伸长率与捻度的关系

由图 3-5 可知，纱线断裂伸长率随着捻度的增加而增大，到达临界捻度以后，

断裂伸长率略有增加,捻度继续增加,断裂伸长率甚至还有少许下降。纱线在拉伸力作用下断裂时产生的伸长,是由三部分组成的。一是纱中纤维相互滑脱而产生的伸长;二是纱中纤维自身受外力作用而产生的伸长;三是纱的捻角变小和直径变小而产生的伸长。随着捻度的增加,纤维间的摩擦逐渐增大,由纤维滑移而产生的这部分伸长会逐渐减小。在临界捻度范围内,随着捻度的增加,纱的捻角和纱的强度增大,在拉伸断裂过程中,纱中纤维受到的拉伸作用和产生的伸长会增大,由捻角变小和直径变小而产生的伸长也会增加。在实际可能采取的捻系数范围内,后两部分断裂伸长是主要的。所以,纱线的断裂伸长随着捻度的增加而增大。

3.2.3 不同细度不同捻度纯毛纱的测试与分析

用南通宏大的 HD021N 电子单纱强力仪分别测试 17.86 Tex (665 捻)、16.67 Tex (730 捻)、10.93 Tex (845 捻) 纯毛纱的拉伸力学性能,每组 30 次,取其平均值,试样夹距 500mm,拉伸速度 500mm/min,测得的数据用如下。

表 3-1 不同细度不同捻度纯毛纱的强力

纱样	强力 (cN)	捻度 (捻/米)	细度 (Tex)
1	52.8	845	10.93
2	72.85	730	16.67
3	82	665	17.86

本试验数据没有采用相对强度,由于纱线粗细不同,加捻的程度也不一样。实际生产中,较细的纱线往往捻系数较大,以满足织造时强力的要求。从表 3-1 可以看出,纱线强力随着捻度的增加而下降,随着细度的变细而减小。细度变细,纱线截面纤维的根数减少,拉伸时承担外力的纤维根数相应减少,而且纤维根数减少降低了纤维之间的抱合力和磨擦力。纱线强力实际上就是纤维自身的强力和纤维间摩擦抱合力之和。因此,纱线细度变细,强力随之下降。在临界捻度范围内,强力随着捻度的增加而增大,而本试验强力随着捻度增加而下降,是因为随细度变细降低的强力完全抵消了随着捻度的增加而增大的强力。细度对强力的影响更大。

表 3-2 不同细度不同捻度纯毛纱的断裂伸长率

纱样	断裂伸长率 (%)	捻度 (捻/米)	细度 (Tex)
1	7.05	845	10.93
2	5.3	730	16.67
3	6.48	665	17.86

从表 3-2 可以看出,纱线断裂伸长率随着捻度的增加先减小后增大,随着细度

的增加的变化趋势与捻度相似。由上文的分析可知，纱线断裂伸长率随着捻度的增加应该增大。纱线细度变细，纱中截面纤维的根数减少，纱线强力下降，而且滑脱纤维数量也减少。纱线强力下降，纱中纤维自身受外力作用而产生的伸长减少；滑脱纤维数量减少，纱中纤维相互滑脱而产生的伸长降低。所以，纱线断裂伸长率随着纱线细度变细而减小。捻度和细度的变化对纱线断裂伸长率的影响可能存在部分抵消。

捻度与细度之间的关系可以通过捻系数来表示。图 3-6 是纱线断裂伸长率与纱线捻系数的关系图，由图中可见，纱线断裂伸长率随着纱线捻系数的增加而增大。

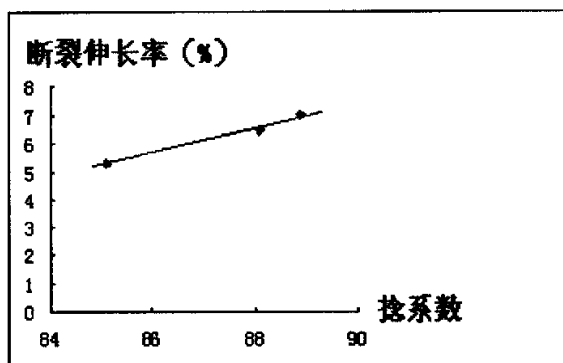


图 3-6 纱线断裂伸长率与纱线捻系数的关系

3.2.4 纱线的拉伸图

纱线在拉伸负荷作用下会产生明显的变形，当负荷释放后，试样会产生回复，但不能完全回复到试样的初始状态，总会产生一部分残余变形。我们把试样能回复的这部分变形称为弹性变形，把不能回复的这部分变形称为塑性变形。在弹性变形中，当负荷释放后能立即回复的变形称为急弹性变形；当延缓一段时间后逐渐回复的变形称为缓弹性变形。在急弹性变形后的残余变形称为急塑性变形；在缓弹性变形后的残余变形称为缓塑性变形。弹性变形和塑性变形的大小是衡量纱线、织物弹性性能的重要指标。一般来说，弹性变形愈大而塑性变形愈小的纱线，其弹性性能愈好。

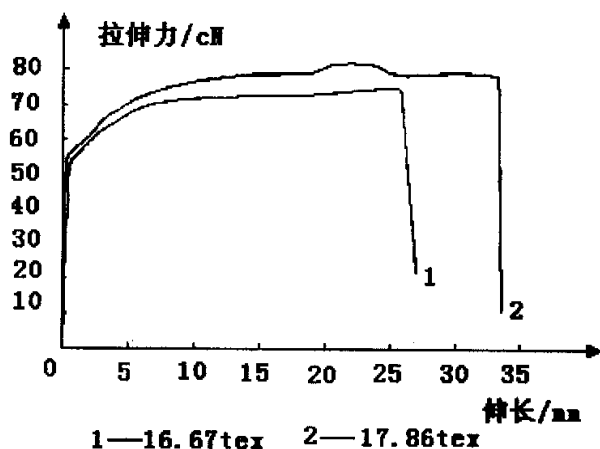


图3-7纯羊毛纱拉伸图

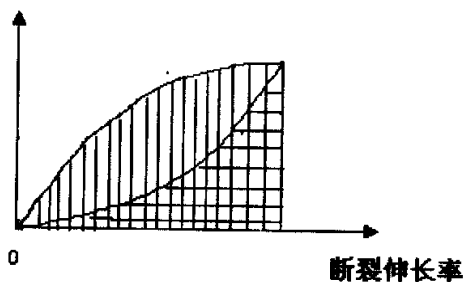
羊毛纯纺纱拉伸图见图3-7，从图中可以看出：羊毛纯纺纱的拉伸曲线上具有明显的急弹性、缓弹性和塑性变形三个阶段，特别是缓弹性表现较明显，说明该批羊毛纯纺纱具有较好的弹性性能。对 16.67tex 的毛纱而言，拉伸力开始增加很大，而伸长很小，拉伸曲线斜率很大，拉伸力为50cN，伸长为1mm左右时，达到屈服点；过了屈服点，曲线斜率变缓，伸长比开始阶段有显著的增加；拉伸力达到68 cN后，拉伸曲线接近水平，伸长从7mm增加到22mm的过程中，拉伸力仅仅增加了2cN；继续拉伸，拉伸力和伸长增加不多，最后纱线被拉断，强力为72.85cN，断裂伸长为26.5mm。17.86tex毛纱的拉伸性能与16.67tex相似，只是强力和断裂伸长大一些。

3.2.5 断裂功

对纱线拉伸力学性能的了解，还需要断裂功补充。

断裂功反映了材料抵抗拉伸断裂的能力，是断裂强力和断裂伸长的综合反映。在同样的断裂强力和断裂伸长下，断裂功常常相差很大，如图所示。下图表明纱线在同样的强力和断裂伸长下断裂，外力做功差异很大，反映出纱线抵抗外力破坏的能力的不同。

断裂强力



断裂功的数学定义： $W_{F\max} = \int_0^{L_{F\max}} F(l)dl$

式中： $W_{F\max}$ ——断裂功 (N×m)

$L_{F\max}$ ——相应于断裂强力的断裂伸长

F—E 特性曲线图中，断裂功相应于断裂曲线与 X 轴所包围的面积 S，但在数值上并不相同，实际的断裂功可用下式表示：

$$W_{F\max} = S * L_0$$

式中： L_0 ——纱样的夹持长度

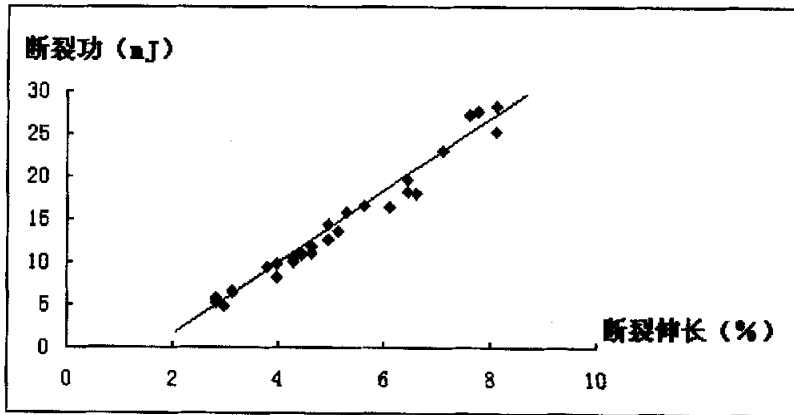


图 3-8 69.5 支纯毛纱断裂功与断裂伸长的散点图

从图 3-8 可以看出，断裂功与断裂伸长有显著的线性关系。断裂功相当于平均断裂强力和断裂伸长的乘积，断裂伸长增加，显然断裂功随之增大。对这些试验点进行回归，回归方程为一直线： $y=4.201x-7.281$ ， $R^2=0.970$ 。从图中可以看出断裂伸长相同的时候，断裂功并不相等，这是因为断裂强力不同引起的，这种差异和纱线的结构不匀有关。

3.3 纱线拉伸断裂机理的研究

3.3.1 纱线中纤维的排列形态

处在加捻三角区的纤维，因受到纺纱张力和加捻的作用，产生了向心压力或径向压力。处在三角形边缘的纤维，向心压力最大；处在纱轴衷心附近的纤维，向心压力最小。因此，处在边缘的纤维，将克服纤维间的阻力而向内部转移，纤维自身由紧张状态变为松弛状态。处于纱轴中心附近的纤维则被挤出而张紧。此时，张紧纤维又挤向中心，松弛纤维又被挤出。如此反复进行。

实际上，纤维在纱线中的排列形态是很复杂的，而且是一种随机现象。处在不同

位置的纤维发生内外转移现象，必须受到张力作用和克服纤维间的阻力。这种阻力的大小，与纤维的粗细、刚度、弹性、表面性状以及加捻的三角区中须条的紧密度等因素有关。而且纤维的这种内外转移现象，只有在纤维通过加捻三角区这一瞬间才有可能发生。因此，纱线中各根纤维的内外转移并不相同，也不是所有的纤维都发生内外转移。发生内外转移的纤维螺旋线呈圆锥形，即各处直径不等，这种纤维占大多数。有一小部分纤维在纱中没有发生内外转移，其螺旋线呈圆柱形，即各处直径相等。其余的纤维，则为弯钩、打圈、折叠纤维等各种类型的纤维。

单纤维在纱线中的排列状态比较复杂，主要以圆锥螺旋线和圆柱螺旋线两种状态存在，而且以圆锥螺旋线占绝大多数。

3.3.2 纱线的断裂机理

当纱线开始受到拉伸时纤维本身的皱曲减少，伸直度提高，表现出初始阶段的伸长变形。这时纱线截面开始收缩，增加了纱中外层纤维对内层纤维的压力。传统方法纺成的细纱中，任一小段都是外层纤维的圆柱螺旋线长，内层纤维圆柱螺旋线短，中心纤维成直线。因而外层纤维伸长多，张力大；内层纤维伸长小，张力小；中心纤维可能还未伸长，还被压缩着。而且，外层纤维螺旋角大，内层纤维螺旋角小，因而纤维张力在纱线轴向的有效分力，也是外层小于内层。所以，细纱拉伸中最易断裂的是最外层的纤维。

继续拉伸，纱中外层纤维短的部分滑脱被抽拔，长纤维受到最紧张的拉伸。到一定程度后，外层纤维受力达到拉断强力时，外层纤维逐步断裂。此时，纱中承担外力的纤维根数减少了，总拉伸力将由较少的纤维根数分担，纱中由外向里的第二层纤维的张力将猛增。而且，纱中外层纤维断裂滑脱后，最外层纤维对内层纤维的抱合压力解除，内外层纤维间的抱合力和摩擦力迅速减小，这就造成更多的纤维滑脱。未滑脱的纤维，随之将更快地增大张力，因而被拉断。这样纱线最终完全解体。

3.3.3 影响纱线断裂的因素

（一）纤维的内部结构

1、大分子的聚合度：聚合度越高，大分子间的横向结合力就越大，纤维的强度就越高。

2、大分子的取向度：取向度越高，大分子或基原纤与纤维轴平行度高，在拉伸中受力的基原纤和大分子的根数就越多，纤维的强度就越高。

3、纤维的结晶度：纤维大分子、基原纤排列越规整，缝隙孔洞越小，大分子和基原纤间的结合力越强，纤维的断裂强度、屈服应力、初始模量就越高，越不容易拉断。

（二）纤维的性能

- 1、纤维的长度，短于 $2L$ 。(滑脱长度)的纤维越多，纱线的强度越小。
- 2、纤维的强度，纤维的相对强度越高，纱线的强度也越高。
- 3、纤维的细度，相同支数的纱线，纤维越细，越柔软，在纱中互相抱合的越紧，同时，纱中横截面上的纤维根数就越多，纤维在纱中内外转移的机会就越多，各根纤维受力就越均匀，纱线强度就越高。

(三) 纱线的结构

除了纱线中纤维排列的平行程度、伸直程度、内外层转移次数等之外，影响纱线强度的最重要的因素是纱线的捻度。加捻作用使纱线中纤维间产生了向心压力，增大了纤维间的摩擦力，所以在一定范围内，纱线的强度随捻度的增加而增加。当捻度达到某一数值后(临界捻度)，加捻作用主要表现为增加纱中纤维的预应力，减小纤维强度的轴向分力，于是纱线强度随捻度的增加而下降。

3.4 小结

原料，半制品的质量，前、后纺的加工工艺，设备，参数的设置及调整对成纱的强力和伸长都有着直接或间接的影响。本文主要考虑的是原料和纱线质量对拉伸特性的影响。

- (1) 剔除纱线自身的原因，影响纱线强力和伸长测试因素主要包括：夹持长度、拉伸速度、环境温湿度、预加张力、夹持器。
- (2) 相同细度不同捻度纯毛纱的拉伸力学性能：纱线强力随着细度变细而降低，抵消了强力随着捻度的增加而增大的部分，细度对强力的影响更大；断裂伸长随着捻系数的增加而增大。
- (3) 16.67tex 纯毛纱的拉伸力学性能：拉伸力开始增加很大，而伸长很小，拉伸曲线斜率很大，拉伸力为 50cN，伸长为 1mm 左右时，达到屈服点；过了屈服点，曲线斜率变缓，伸长比开始阶段有显著的增加；拉伸力达到 68 cN 后，拉伸曲线接近水平，伸长从 7mm 增加到 22mm 的过程中，拉伸力仅仅增加了 2cN；继续拉伸，拉伸力和伸长增加不多，最后纱线被拉断，强力为 72.85 cN，断裂伸长为 26.5mm。

要求纱线具有一定的断裂强力和伸长率主要是为了使成品结实、耐用，但随着纺纱后加工设备越来越高速化、自动化，要求纱线具有足够的强力及伸长率已成为维持现代化生产工艺的必要条件，对纱线拉伸性能的研究与分析也变得越来越重要。

4 纱线断裂伸长率的预测模型的建立

随着社会的发展,数学在社会各领域中的应用越来越广泛,作用越来越大,不但运用于自然科学各学科、各领域,而且渗透到经济、军事、管理以至于社会科学和社会活动的各领域。但是,在实际工作中遇到的问题,完全纯粹的只用现成的数学知识就能解决的问题几乎是没有的。所以,这里要对复杂的实际问题进行分析,发现其中的可以用数学语言来描述的关系或规律,把这个实际问题化成一个数学问题,这就称为数学模型,建立数学模型的这个过程就称为数学建模。

对于现实中的原型,为了某个特定目的,作出一些必要的简化和假设,运用适当的数学工具得到一个数学结构就是数学模型。也可以说,数学建模是利用数学语言(符号、式子与图像)模拟现实的模型。把现实模型抽象、简化为某种数学结构是数学模型的基本特征。它或者能解释特定现象的现实状态,或者能预测到对象的未来状况,或者能提供处理对象的最优决策或控制^[32-33]。

4.1 先进统计软件 SPSS 简介^[34-36]

计算机的应用已经深入到社会生活的各个领域。随着微型机的普及及应用,计算机的应用已经不是一般的文字处理。在高等院校和科研院所使用计算机进行统计运算与科学研究,在商业企业利用计算机对经营和生产领域中的数据进行分析优化,因此计算机在处理和数据分析方面起着十分重要的作用,SPSS 为计算机完成此项任务提供了强有力的支持。

SPSS(Statistics package for Social Science)一社会科学用统计分析软件包是世界上著名的统计分析软件之一。它使用 Windows 窗口的方式展示各种管理和分析数据方法、功能,使用对话框展示各种功能选择项。它具有强大的图形生成功能,即可以得到分析后的数字结果,还可得到直观、清晰、漂亮的统计图,对原始数据形象地做出各种描述。SPSS 软件包是一个组合式软件包,集数据整理、分析功能于一身。该软件可以应用于经济学、生物学、心理学、医疗卫生、体育、农业、林业、商业金融等各个领域。

4.1.1 SPSS 软件的特点

- 1、除数据输入工作需要使用键盘外,大多数操作是通过“菜单”、“图标按钮”、“对话框”来完成。
- 2、SPSS 的命令语句、子命令及选择项的选择绝大部分由“对话框”操作来完成。
- 3、与其它软件有数据转换接口,其它软件生成的数据文件均可转换成可供分析的 SPSS 数据文件。

4、分析方法丰富，提供了从简单描述统计分析到多因素分析统计分析方法。还有很强的图表生成功能。

4.1.2 SPSS 软件进行统计分析的步骤：

其一、编辑一个 SPSS 可执行程序（包括数据的定义、数据和统计过程即命令）；然后，从 Open 调到 SPSS 系统中。

其二、从菜单中选择统计过程如：Analyze、Correlation、Partial...

其三、从 SPSS 对话框中点选变量清单及统计量然后点击 **OK** 键执行命令。

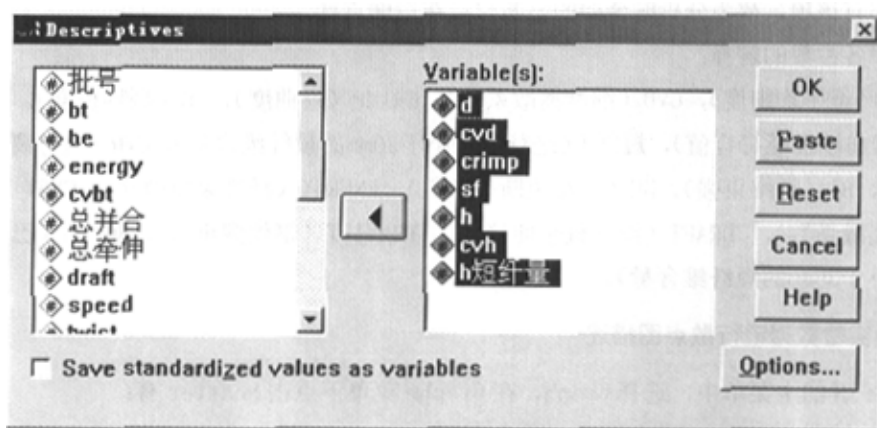
4.2 数据分析

本研究的数据来源于兰州三毛集团，是精梳厂，采用进口设备加工，经过了条染复精梳，详细数据请见附录。

4.2.1 数据的基本统计

(1) 目的：描述各变量的频率、均值、方差、分布特征等，尤其对数据分布形态特征的描述，有助于后面的具体统计分析中进行合理选择设置。

(2) 简单操作步骤：在 SPSS 的主菜单中，选择 Analyze，在 Analyze 菜单的 Statistic 下完成的：



此次我们只要用到 Descriptives，其它功能项均对本研究无意义。点 Analyze→Summarize→Descriptives 出现对话框，点选对话框中的变量，用“右三角”导入对话框，我们将四个变量全部选入，再点右下角 Options 出现选择对话框，点我们需要的几项：均值标准离差、最值、变异值、范围及标准误差，再点 Continue→OK. 输出结果如下：

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
D	66	16.10	23.20	19.3777	1.5959
CVD	66	18.79	25.50	21.2376	1.4218
CRIMP	66	62.16	87.54	71.4321	5.0872
H	66	55.6	85.1	69.352	7.856
SF	66	15.60	22.90	18.9130	1.6945
短纤H	66	3.4	22.1	12.512	4.372
CVH	66	39.9	55.2	47.895	3.193
BT	66	8.97	10.94	10.1415	.4527
BE	66	36.83	56.14	42.3338	3.5686
ENERGY	66	.2088	.3571	.250367	2.77720E-02
CVBT	66	.10	3.58	1.6511	.6979
总并合	66	6720	150528	18795.64	24406.41
总牵伸	66	58317.5	1.2E+07	1405060	2146797.631
毛条不匀	66	.20	2.10	.8435	.4262
DRAFT	66	15.40	19.86	17.9139	.9206
SPEED	66	5700	9000	6910.61	595.40
实测纱支	66	39.59	113.38	73.4511	16.9686
纱不匀	66	16.93	23.48	21.0768	1.4191
TRAVWT	66	.02	.05	2.849E-02	8.902E-03
实捻	66	562.8	928.0	762.785	96.820
短纤B	66	1.1	8.0	4.352	1.665
Valid N (listwise)	66				

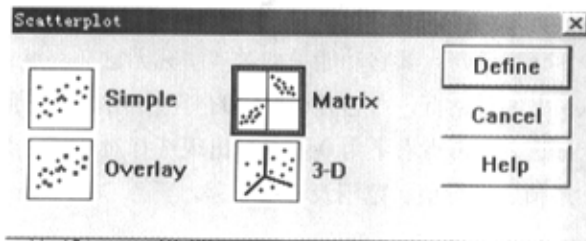
其实，我们可以不需要单独进行Descriptives，在后面的回归分析、因素分析对话框中都有该项，故为分析时全面的参照也可在后面点选。

表中各参数的解释：

D（纤维平均细度），CVD（细度离散系数），CRIMP（卷曲度），H（毫特长度），SF（纤维纺纱性能综合值），短纤H（毫特长度小于30mm的短纤维含量），CVH（毫特离散系数），BT（纤维束强），BE（纤维束断裂伸长），ENERGY（纤维束断裂功），CVBT（束强离散系数），DRAFT（细纱机牵伸倍数），TRAVIWT（钢丝圈重量），短纤B（巴布长度小于30mm的短纤维含量）。

4.2.2 对实验数据进行散点图描述

在 SPSS 的主菜单中，选择 Graph，在 Graphe 菜单下点击 Scatter 有：



首先用 Simple 做各个变量两两之间的散点关系图，直接分别以其中任意两变量为 X 轴、Y 轴，可看出变量两两之间有一定的相关性，更简捷的办法是选 Matix，对话框中四个变量，得到矩阵形式的散点图，效果更直观，同时，我们还需要知道三个变量之间的散点关系图，用 3-D，给 X, Y, Z 轴输三个变量，如上图。下面是选择 Matix 对话框中七个变量，分别得到矩阵形式的散点图。

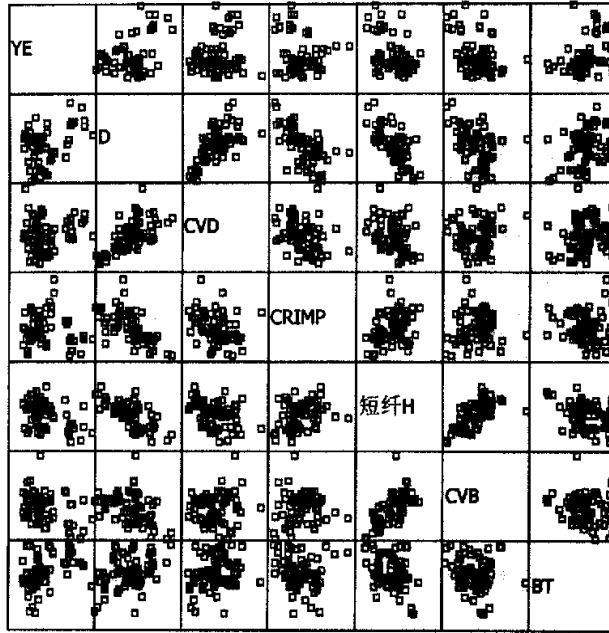


图4-1 散点图1

通过散点图的分析，我们可以找出有问题的数据。如数值比其他大得多的或较小的，这样有利于我们以后的分析。那些有问题的数据可能是由于仪器本身的误差所造成的或试验人员的疏忽所造成，我们经过这样的分析，可以在以后的数据测试尽量避免这种问题的发生。图 4-2 为去除问题数据后的散点图。

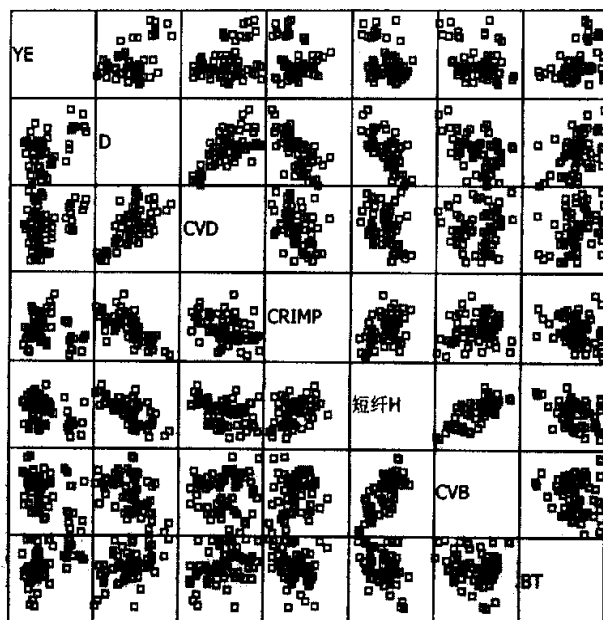


图4-2 散点图2

4.3 曲线拟合

(1) 目的: 曲线拟合或估计 (Curve fit 或 Curve Estimate) 的输出结果中, 有十几种曲线模型的拟合效果、相关系数值及实测图与曲线的对比图形, 对各个变量分别做与可能对其影响较大的变量的曲线拟合, 找出相关性最好的曲线模型。总之, 这部分工作是想知道影响某变量的主要变量以及他们以何种数学形式影响某变量的值。

(2) 步骤: 第一步进行曲线估计, 在 SPSS 中 REGRESSION/CURVE ESTIMATE 对话框点选因变量到 DEPENDENT 框中, 自变量到 INDEPENDENT 中, 点黑所需的曲线模型 (下方共十一个), 我们全选, 点击 OK。

我们分别做各个变量和 YE 的曲线估计, 得到拟合结果如下: (上图为相关值表, 下图为拟合曲线)

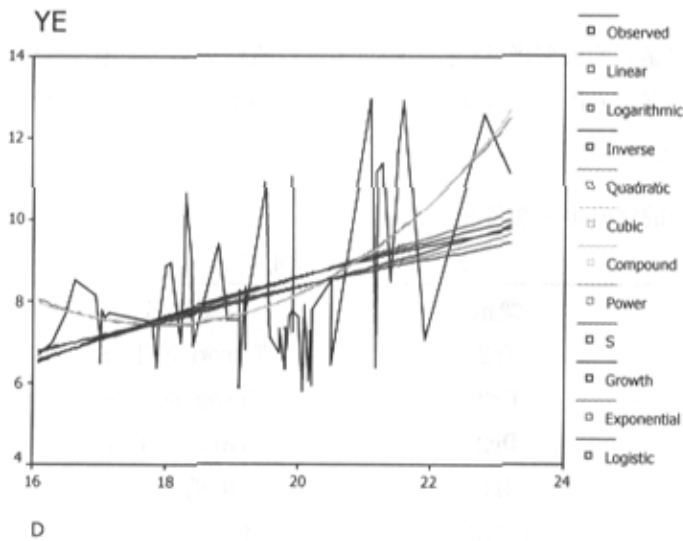
下面是 D 和 YE 的曲线估计。

MODEL: MOD_1.

Independent: D

Dependent	Mth	Rsq	d. f.	F	Sigf	bound	b0	b1	b2	b3
YE	LIN	.198	61	15.01	.000		-1.5753	.5071		
YE	LOG	.183	61	13.65	.000		-19.473	9.3644		
YE	INV	.168	61	12.36	.001		17.1421	-171.08		

YE	QUA	.303	60	13.03	.000	66.7522	-6.6112	.1841
YE	CUB	.306	60	13.21	.000	24.4539	-.1582	.0059
YE	COM	.164	61	11.96	.001	2.9467	1.0533	
YE	POW	.151	61	10.87	.002	.4727	.9583	
YE	S	.139	61	9.85	.003	2.9964	-17.485	
YE	GRO	.164	61	11.96	.001	1.0807	.0520	
YE	EXP	.164	61	11.96	.001	2.9467	.0520	
YE	LGS	.164	61	11.96	.001	.3394	.9494	



同样的作出其他变量与YE的曲线估计，结果汇总如下表

表4-1 拟合结果汇总表

拟合参数	较好的拟合方式	R ²
D	三次多项式(CUB)	0.306
CVD	三次多项式(CUB)	0.081
CRIMP	三次多项式(CUB)	0.105
SF	三次多项式(CUB)	0.328
H	三次多项式(CUB)	0.215
CVH	三次多项式(CUB)	0.135
HS	三次多项式(CUB)	0.045
BT	二次多项式(QUA)	0.107
BE	二次多项式(QUA)	0.015

ENERGY	二次多项式(QUA)	0.044
CVBT	三次多项式(CUB)	0.013
总并合	三次多项式(CUB)	0.317
总牵伸	三次多项式(CUB)	0.066
SPEED	三次多项式(CUB)	0.154
FACTOR	二次多项式(QUA)	0.008
TRAVWT	三次多项式(CUB)	0.528
NM	三次多项式(CUB)	0.619

4.4 预测模型的建立

线性回归建立的模型极不理想, 经过多次探索研究后, 采用非线性回归的方法建模。并且以75支为界限, 分段建立数学模型, 力求得到最优的预测模型。

4.4.1 定义变量

根据曲线拟合的优度定义变量如下:

表4-2 定义变量汇总表

变量	变量名
Tr2	Travwt 的平方
Cr2	Crimp 的立方
Dr2	Draft 的平方
H3	H 的立方
Fahs1	Factor 除以 H 短纤
EnBt	Energy 乘以 Bt
BtBe	Bt 乘以 Be
EnBe	Energy 乘以 Be
Cvbt1	Cvbt 的倒数
总并合 D1	总并合除以 D
CvdCvh	Cvd 乘以 cvh
Factor	捻系数
Nmhs	Nm 乘以 h 短纤
Dnm	D 乘以 Nm
Travwt	钢丝圈
Cvdhs	Cvd 乘以 h 短纤
FaD1	Factor 除以 D

Mtby	毛条不匀
Nm	实测支数
E	总牵伸
N	总并合
S	前隔距
HB	短纤 B

4.4.2 75 支以下的模型的建立

(1) 回归分析的结果

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
	GROPE = 1.00 (Selected)			
1	.988 ^a	.976	.939	.5456

a. Predictors: (Constant), ENBE, CVBT, BT, CVDCVH, 总并合D1, 捻系数, DRAFT, 钢丝圈, CR2, 前隔距, CVBT1, FAHS1, 短纤B, DNM, D, CVDHS, BE, 总牵伸, ENBT, BEBT, DR2

ANOVA^{b,c}

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	167.933	21	7.997	26.860	.000 ^a
	Residual	4.168	14	.298		
	Total	172.101	35			

a. Predictors: (Constant), ENBE, CVBT, BT, CVDCVH, 总并合D1, 捻系数, DRAFT, 钢丝圈, CR2, 前隔距, CVBT1, FAHS1, 短纤B, DNM, D, CVDHS, BE, 总牵伸, ENBT, BEBT, DR2

b. Dependent Variable: YE

c. Selecting only cases for which GROPE = 1.00

Coefficients^{a,b}

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	77.346	73.333		1.055	.309
	D	.408	.315	.191	1.294	.216
	前隔距	1.244	.470	.275	2.644	.019
	DRAFT	6.678	6.280	2.586	1.064	.306
	CR2	1.854E-03	.000	.494	4.293	.001
	DR2	-.202	.184	-2.727	-1.096	.291
	CVDHS	3.156E-04	.005	.013	.064	.950
	DNM	-4.77E-03	.002	-.413	-2.572	.022
	CVDCVH	3.056E-03	.003	.138	1.186	.255
	总并合D1	5.554E-03	.003	.610	1.804	.093
	CVBT1	-.431	.372	-.096	-1.157	.266
	FAHS1	-5.81E-02	.067	-.124	-.868	.400
	钢丝圈	25.098	40.230	.094	.624	.543
	短纤B	-.451	.230	-.294	-1.957	.071
	CVBT	-.619	.295	-.202	-2.099	.054
	捻系数	-5.64E-02	.046	-.095	-1.223	.242
	总牵伸	-3.46E-06	.000	-.695	-1.763	.100
	BT	-9.182	4.385	-1.784	-2.094	.055
	BE	-3.967	1.182	-6.501	-3.357	.005
	BEBT	.280	.106	5.329	2.637	.020
	ENBT	-9.453	3.977	-1.418	-2.377	.032
	ENBE	2.919	.829	2.956	3.522	.003

a. Dependent Variable: YE

b. Selecting only cases for which GROPE = 1.00

对应的数学模型为:

$$YE = 77.346 + 0.408 * D + 1.244 * S + 6.678 * DRAFT + 1.854 * 10^{-3} * CR2 - 0.202 * DR2 - 3.156 * 10^{-4} * CVDHS - 4.77 * 10^{-3} * DNM + 3.056 * 10^{-3} * CVDCVH + 5.554 * 10^{-3} * ED1 - 0.431 * CVBT1 - 5.81 * 10^{-2} * FAHS1 + 25.098 * TRAVWT - 0.451 * HB - 0.619 * CVBT - 5.64 * 10^{-2} * FACTOR - 3.46 * 10^{-6} * E - 3.967 * BE - 9.182 * BT + 0.28 * BTBE - 9.453 * ENBE + 2.919 * ENBE$$

正式的预测模型为:

$$YE = 77.346 + 0.408 * D + 1.244 * S + 6.678 * DRAFT + 1.854 * 10^{-3} * CR^2 - 0.202 * DR^2 - 3.156 * 10^{-4} * CVDHS - 4.77 * 10^{-3} * DNM + 3.056 * 10^{-3} * CVDCVH + 5.554 * 10^{-3} * E/D - 0.431 / CVBT - 5.81 * 10^{-2} * FACTOR / HS + 25.098 * TRAVWT - 0.451 * HB - 0.619 * CVBT - 5.64 * 10^{-2} * FACTOR - 3.46 * 10^{-6} * E - 3.967 * BE - 9.182 * BT + 0.28 * BTBE - 9.453 * ENBE + 2.919 * ENBE$$

(2) 输出表中各参数的解释^[37]

MODEL SUMMARY 为模型综述表。表中列出了模型的相关系数 (R)、相关系数的平

方 (R Square)、调整的相关系数的平方 (Adjusted R Square)、估计的标准误差 (Std. Error of the estimate)。

ANOVA 为方差分析表。利用该表作回归系数的显著性检验。回归项 (Regression) 和残差项 (Residual) 的平方和 (Sum of Squares)、自由度 (df)、均方和 (Mean square)、F 值和显著性概率 (Sig.)。F 值表示方程多元回归时的显著性, SIG F 表示实际水平 (在 $\alpha=0.05$ 置信水平下, 方程接受“回归系数为 0”的假设的概率), F 和 SIG F 是等效的, 本质上也是相同的, 只是由于 SPSS 输出结果受显示位数的限制, 几个方程的 SIG F 同为 0.000 时, 我们只有通过相同 DF (自由度, 由样本容量及自变量的个数决定) 下, 比较 F 值的大小, F 越大, 模型越优 (注意在相同的 DF 下), SIG F 与 F 的区别, 只是数字形式的不同, 在输出结果的限制下, 可互为参考。

COEFFICIENTS 显示回归系数 (B) 及其标准误差 SE (B), BETA (标准化回归系数) 以及相应各个单一自变量的 T 检验: T 值及 SIG T 值。

值得注意的是, 从 F 检验的数理意义, SIG F 很小 (亦或 F 值很大) 仅仅表达了“回归系数不为零”的显著性, 而要确定回归模型中因变量与自变量之间关系强弱, 即相关性大小, 则需用另一个标准——决定系数 R^2 表示自变量对因变量的决定程度, 反应了模型的拟合优度, R^2 是回归平方和占总平方和的百分比, 它反映回归模型逼近真实的程度, 因为它只依赖于平方和, 所以能有效的运用于多元回归的可靠性分析; 当回归残差平方和 SS_{res} 越小 (接近于零), 回归平方和与总平方和 RSS 的比值越接近于 1 (即 R^2 值越趋近于 1), 模型的拟合优度越高, 相关性越好。

(3) 预测值与实际值的比较

a 数据比较

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
YE	37	5.79	12.96	8.5970	2.1914
Unstandardized Predicted Value	37	5.65019	12.99875	8.597027	2.1757641
预减实际	37	-.61	.67	9.497E-14	.2610
Valid N (listwise)	37				

相对误差=0.0003% 注: 相对误差为预测值减实测值的值(预减实绝)除以实测值(YE)

b 图形比较

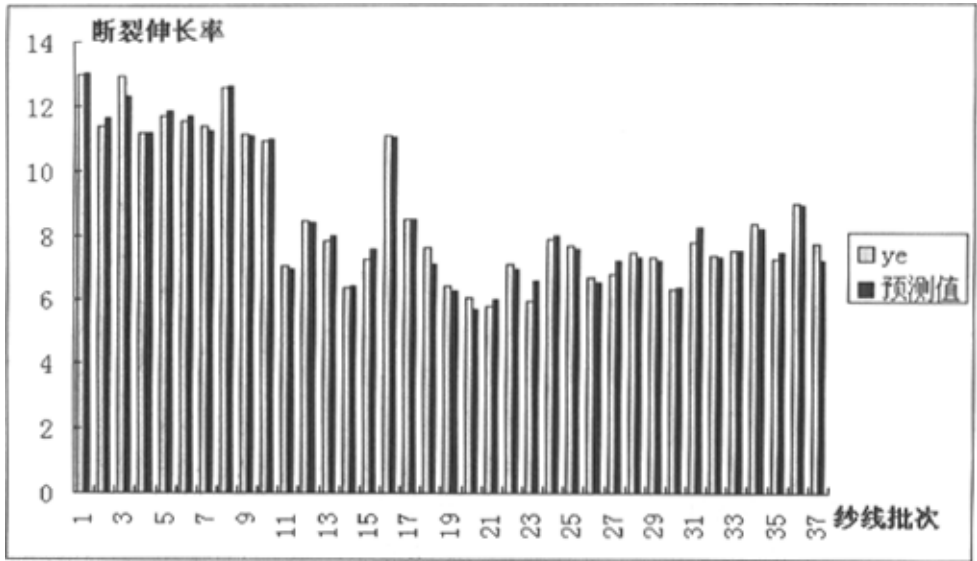


图 4-3 75 支以下模型预测值合实际值的比较图

图 4-3 可以直观的看出预测值与实际值的一一比较, 除个别批次误差稍大外, 绝大多数批次纱线的预测值和实际值吻合很好, 误差极小, 证明数学模型有效的预测了断裂伸长率, 模型优越性较高。

(4) 拟合效果示意

a 散点图

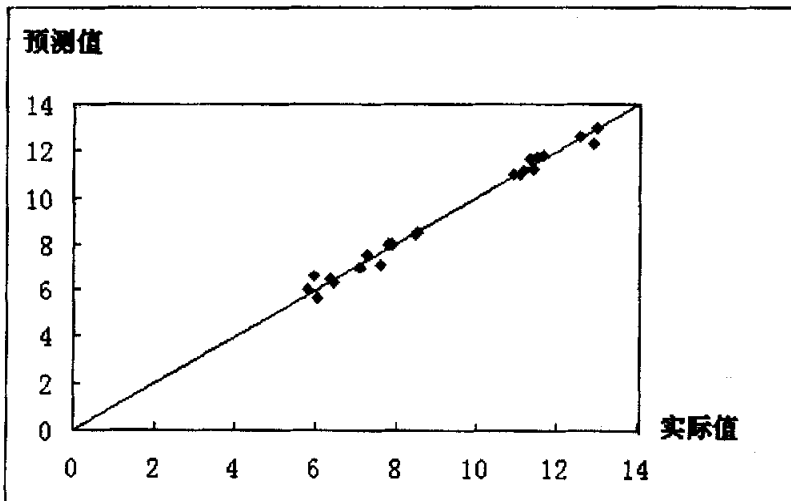


图4-4 75支以下模型预测值合实际值的散点比较图

从图 4-4 可以看出, 一些实验点完全落在矩形对角线上(即预测值等于实际值), 多数点落在对角线附近, 个别点偏移对角线稍远。证明预测值和实际值吻合很好, 所

建数学模型预测纱线的断裂伸长还是比较准确的。

b 折线图

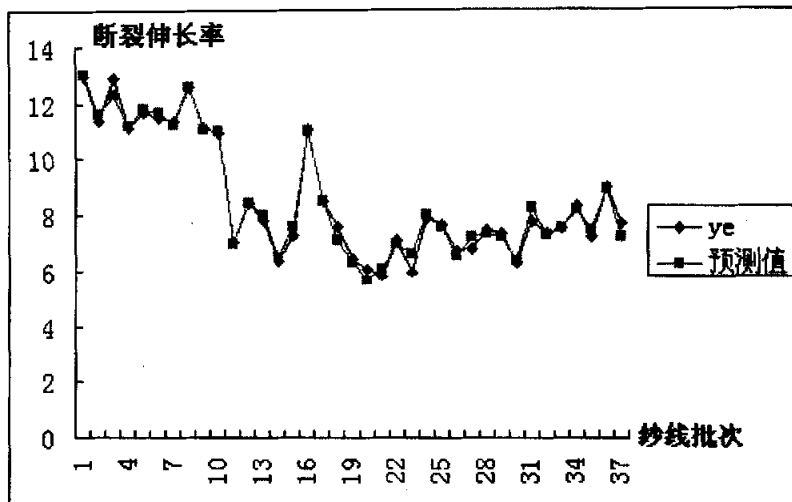


图 4-5 75 支以下模型预测值合实际值的折线比较图

图 4-5 给出了预测值和实际值的一一对应关系，一些位置两者几乎完全相当，极少数位置两者偏差稍大，大多数位置两者略有出入。说明预测值和实际值吻合较好，所建数学模型预测纱线的断裂伸长还是很准确的。

由统计数据比较和图形比较可以看出，预测值与实际值误差很小，几乎相当，证明所建模型优越性较高 ($R^2=97.6\%$)，能有效的预测纱线的断裂伸长。

4.4.3 75 支以上模型的建立

(1) 回归分析的结果

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
	GROPE = 2.00 (Selected)			
1	.984 ^a	.968	.838	.4297

a. Predictors: (Constant), ENBE, DNM, CVH, CRIMP, CVBT1, 毛条不匀, FAD1, BT, 钢丝圈, CVD, H3, 短纤 H, 捻度, CVB, BE, D, ENERGY, TR2, H, SF

ANOVA^{a,b,c}

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	27.531	20	1.377	7.457	.017 ^a
	Residual	.923	5	.185		
	Total	28.454	25			

a. Predictors: (Constant), ENBE, DNM, CVH, CRIMP, CVBT1, 毛条不匀, FAD1, BT, 钢丝圈, CVD, H3, 短纤H, 捻度, CVB, BE, D, ENERGY, TR2, H, SF

b. Dependent Variable: YE

c. Selecting only cases for which GROPE = 2.00

Coefficients^{a,b}

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-32.045	28.950		-1.107	.319
	CRIMP	.100	.045	.359	2.232	.076
	SF	-4.221	3.641	-4.297	-1.159	.299
	H	1.081	.629	5.829	1.719	.146
	CVH	.111	.173	.233	.642	.549
	短纤H	7.249E-02	.160	.176	.453	.670
	CVB	1.068	.326	1.742	3.272	.022
	BT	1.843	.350	.827	5.265	.003
	ENERGY	-287.456	104.692	-6.856	-2.746	.041
	毛条不匀	.299	.278	.139	1.076	.331
	捻度	4.293E-02	.007	2.103	6.093	.002
	钢丝圈	-1571.419	701.554	-4.799	-2.240	.075
	FAD1	-3.672	1.334	-1.101	-2.752	.040
	DNM	-7.78E-03	.002	-.804	-3.183	.024
	CVBT1	.102	.075	.178	1.363	.231
	H3	-2.49E-05	.000	-1.757	-.695	.518
	TR2	36188.08	14786.30	5.238	2.447	.058
	CVD	1.262	.689	1.414	1.831	.127
	D	9.294E-02	3.565	.087	.026	.980
	BE	-.438	.428	-1.219	-1.024	.353
	ENBE	4.833	2.092	8.320	2.310	.069

a. Dependent Variable: YE

b. Selecting only cases for which GROPE = 2.00

对应的数学模型为:

$$YE = -32.045 + 0.1 * CRIMP - 4.221 * SF + 1.081 * H + 0.111 * CVH + 7.249 * 10^{-2} * HS + 1.068 * CVB + 1.843 * BT - 287.456 * ENERGY + 0.299 * MTBY + 4.293 * 10^{-2} * TWIST - 1571.419 * TRAVWT - 3.67$$

$$2 * FAD1 - 7.78 * 10^{-3} * DNM + 0.102 * CVBT1 - 2.49 * 10^{-5} * H^3 + 36188.08 * TR^2 + 1.262 * CVD + 9.294 * 10^{-2} * D - 0.438 * BE + 4.833 * ENBE$$

正式的预测模型为:

$$YE = -32.045 + 0.1 * CRIMP - 4.221 * SF + 1.081 * H + 0.111 * CVH + 7.249 * 10^{-2} * HS + 1.068 * CVB + 1.843 * BT - 287.456 * ENERGY + 0.299 * MTBY + 4.293 * 10^{-2} * TWIST - 1571.419 * TRAVWT - 3.672 * FACTOR / D - 7.78 * 10^{-3} * DNM + 0.102 / CVBT - 2.49 * 10^{-5} * H^3 + 36188.08 * TR^2 + 1.262 * CVD + 9.294 * 10^{-2} * D - 0.438 * BE + 4.833 * ENBE$$

(2) 预测值与实际值的比较

a 数据比较

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
YE	26	5.86	10.67	7.7385	1.0668
Unstandardized Predicted Value	26	5.89480	10.69430	7.738462	1.0544260
预测-实际	26	-.41	.29	-3.52E-14	.1623
Valid N (listwise)	26				

相对误差=0.0005% 注:相对误差为预测值减实测值的值(预测-实际)除以实测值(YE)

b 图形比较

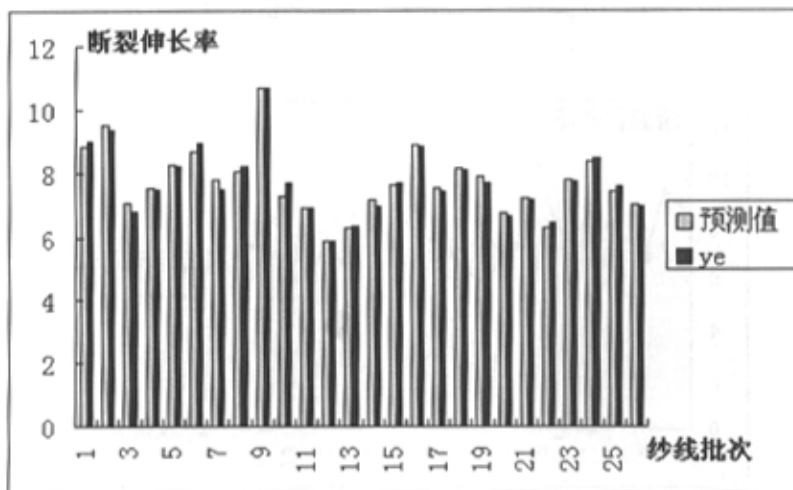


图4-6 75支以上模型预测值合实际值的比较图

图 4-6 可以直观的看出预测值与实际值的一一比较, 除个别批次误差稍大外, 绝大多数批次纱线的预测值和实际值吻合很好, 误差极小, 证明数学模型有效的预测了断裂伸长率, 模型优越性较高。

(3) 拟合效果示意图

a 散点图

从图4-7可以看出,一些实验点完全落在矩形对角线上(即预测值等于实际值),多数点落在对角线附近,个别点偏移对角线稍远。证明预测值和实际值吻合很好,所建数学模型预测纱线的断裂伸长还是比较准确的。

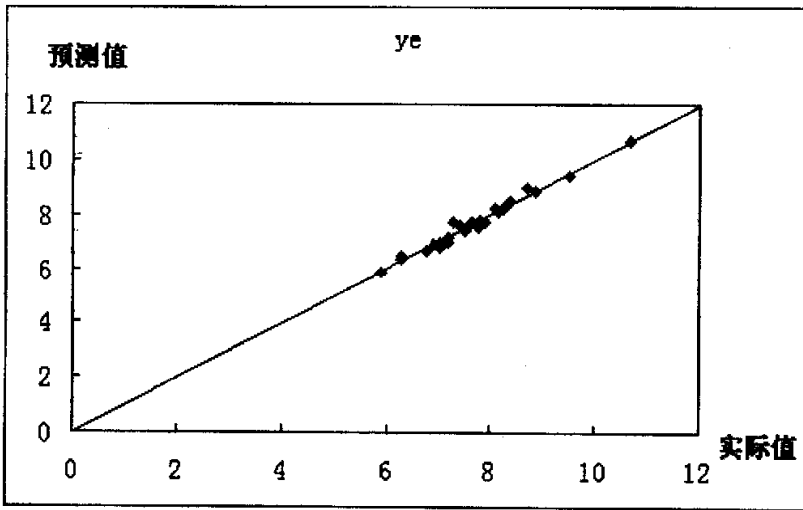


图 4-7 75 支以上模型预测值合实际值的散点比较图

b 折线图

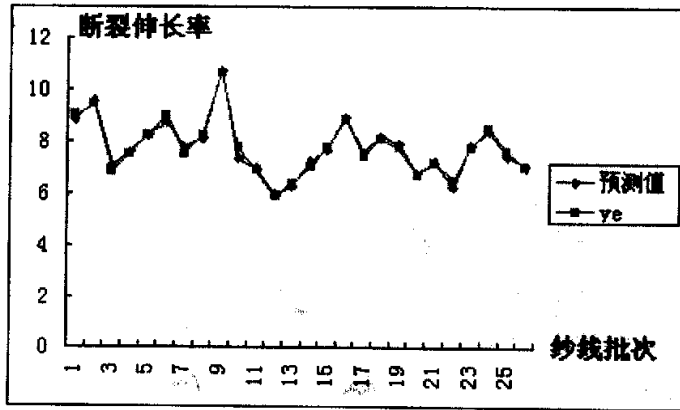


图 4-8 75 支以上模型预测值合实际值的折线比较图

图 4-8 给出了预测值和实际值的一一对应关系,一些位置两者几乎完全相当,个别位置两者偏差稍大,大多数位置两者略有出入。说明预测值和实际值吻合较好,所建数学模型预测纱线的断裂伸长还是很准确的。

由统计数据比较和图形比较可以看出,预测值与实际值误差很小,几乎相当,证

明模型优度很高 ($R^2=96.8\%$), 能有效的预测纱线的断裂伸长。

4.5 主要影响因素的确定

4.5.1 主要影响因素的理论分析

理论和试验研究^[38-40, 42-45]表明: 纤维的断裂伸长是影响纱线断裂伸长的最主要的因素, 纤维强力是影响纱线断裂伸长的第二大主要因素。研究^[38, 39, 41]表明纱线断裂伸长和纱线强力之间的相关性很高。此外, 断裂伸长还受到纱线不匀、纤维细度和纱支的影响。纤维细度和纱支对断裂伸长的影响^[38, 39, 42, 43, 45]主要是通过影响纱线横截面的纤维根数来实现的。

4.5.2 主要影响因素

方法: 将模型中的某个自变量去掉, 再由其他自变量进行回归分析, 看 R^2 发生何种变化, 如 R^2 几乎不变则为次要因素, 影响可以忽略不计。如 R^2 突然变小, 则为影响因素, 去掉该变量后的 R^2 越小, 则该变量对因变量的影响越大, 为主要因素。

结合预测模型, 运用以上方法得到影响纱线断裂伸长的主要因素:

(1) 纤维束断裂伸长 (BE)

纤维束断裂伸长越大, 纱线的断裂强力越高, 断裂伸长也越大。

(2) 纤维束强度 (BT)

纤维束强度越高, 纱线的断裂强力越高, 断裂伸长也越大。

(3) 纤维平均细度 (D)

纤维越粗, 纱线截面内纤维的根数减少, 拉伸时承担外力的纤维根数相应减少, 而且纤维根数减少降低了纤维之间的抱合力和磨擦力。纱线强力实际上就是纤维自身的强力和纤维间摩擦抱合力之和。因此, 纤维直径增加, 强力随之下降。强力下降, 纤维更容易拉断, 断裂伸长相应减小。纱中截面纤维的根数减少, 滑脱纤维数量减少, 因纤维相互滑脱产生的断裂伸长随着减小。综合两方面因素, 纱线断裂伸长随着纤维直径的增加而减小。

模型中纤维平均细度 (D) 是第一影响因素, 纤维束断裂伸长 (BE) 居次, 这与理论分析有所出入, 其实也不矛盾。主要由于建模的纱线批次偏少, 统计分析要求以大量的试验数据为基础的, 这也反映了试验数据覆盖面不广的问题。纤维平均细度从 16.10 μm 增粗到 23.20 μm 的过程中, 纱线的断裂伸长有明显的下降趋势, 当然也有一些波动, 毕竟断裂伸长还要受到其他因素的影响。

5 本研究的实际应用

5.1 预测技术的作用

预测技术是质量管理的高级手段之一,长期以来,我国毛纺织企业由于缺乏对产品质量与纤维性能之间关系的细致研究,往往出现购买羊毛的指标与所生产的产品要求不相符合,或导致产品成本升高、或引起产品质量波动的情况。“优毛优用”、“经济合理”的原则得不到很好的实施,浪费了许多宝贵的资源和资金。纺纱质量预测技术是在收集大量工业实际生产数据的基础上,对羊毛纤维性能、纺纱加工工艺进行深入研究,采用现代统计分析原理完成的。

在毛纺加工过程中,纺纱是一个关键性的工序。因为纺纱工序和织造工序的耗资均分别为整个毛条制造的3~4倍,并且织物质量在很大程度上取决于纱线质量。因此,对于毛纺织厂改善纱线质量和纺纱性能具有非常重要的经济价值。

纱线质量和纺纱性能主要取决于羊毛纤维的品质,所以可以利用纤维品质对它们进行预测。预测技术作为一种质量控制手段可用于以下几个方面:

(1) 预测纱线品质和纺纱性能:对于很多纺织企业来说,质量控制完全依赖于经验。只有等到纱线纺出来并经测试后,才能了解纺纱质量。纺纱预测技术能使工厂的质量控制人员在纺纱之前对纱线品质和纺纱性能进行预测,就可以避免纺制小样产生的时间延误和原料浪费,而且可以避免因毛条选择不当而造成的不必要的损失。如果预测得到的纱线品质不能满足客户的需要,则可以考虑改用另外的毛条或修改工艺参数。

在成纱其他性能达到要求的情况下,有些客户希望得到断裂伸长更大的纱线来生产弹性良好的织物。我们可以输入原料的品质指标和加工工艺参数对成纱的断裂伸长作出预测,从而选择合适的原料以满足客户的要求。

(2) 优化选择毛条:要生产客户需要的细纱,可以通过不同的方式选择毛条。在满足客户要求的前提下,最理想的选择是能将总成本降至最低的那种毛条。客户的要求通常包括良好的机织(针织)性能或理想的面料质量。因此每一个工厂都应该采取恰当的策略以达到最大的收益。优化选择毛条降低生产成本的实例如下:

用一个为18.5 μm ,毫特长度为67mm的毛条,纺成18.87tex的纱线。毛条纤维特性的详细数据见表5-1。

表 5-1 毛条性质

设计	D (um)	Hauteur (mm)	束强 (cN/tex)	纱线细度 (tex)
原方案	18.5	67	12.0	18.87
改进方案	19.5	75	12.5	18.87

有许多方案可以选择以达到所要求的纺纱效果。如果断裂伸长是主要的选择标准，那么稍长稍粗的羊毛可能是一个好的选择，修改后的设计方案见表 5-1。在纱线其他性能达到要求的情况下，改进方案预测得到的纱线断裂伸长要好于最初的设计。根据从毛条供应商获得的最新数据显示：两种羊毛的价格差大约为 4.50 澳元/公斤。显然，这将给工厂节省一大笔费用。

(3) 调整生产加工工艺：在应用这一技术的过程中，如果发现某一纱线品质明显低于预测结果，则应当进一步调查以得到改进。第一步应检查是否数据输入有误或毛条、纱线样品测试有误，或是否有错标。如果不一致是肯定的，就有必要检查一下该批次加工状况不良的潜在因素。这可能是由于某些未被测到的毛条品质不良、润滑剂使用不当或设备状况不良等原因造成的。这样就可以逐步建立最佳的加工工艺，如合理使用润滑剂或调整牵伸倍数等。

5.2 本研究在弹性织物开发中的应用

随着国内外纺织品市场的发展、人们生活水平的提高以及审美观念的转变，毛织物已经从厚重保暖型较快地向轻薄舒适型方向转变和发展。近几年来，国际、国内市场对弹性毛织物的需求量越来越大，其中具有纬向或经纬向弹性的各类服装，穿着时可防止肘部、肩背、膝部因习惯性运动和弯曲而产生的起弓变形及走样，且具有时尚动感而深受广大消费者的欢迎。

上文介绍了可以通过纱线的断裂伸长间接的表示其弹性。对于相同的加工过程而言，弹性好的纱线做成的毛织物的弹性必然也很好。

充分发挥预测技术的三个作用，通过该预测模型把获得弹性良好的纱线的加工过程记忆，对应的原料必然应该获得弹性相对较好的纱线。如果出现较大的偏差，可能是设备状况不佳或者工人没有很好的操作。针对这样的情况，制定合理的奖惩措施，从而有效的进行质量管理和控制，稳定产品质量，达到生产弹性织物的目的。

为了获得满意的弹性织物，我们可以通过其他方法加以补充。这些方法主要有：加入弹性纤维；利用化学助剂进行弹性整理；纯粹通过工艺手段。

(1) 加入弹性纤维

精纺弹性羊毛织物保持了传统的羊毛织物外观风格，即“丰、糯、弹”等特点，

所以在原料配置上仍以羊毛为主，加入少量弹性纤维。为了增加织物的强度、降低成本，也可在原料中加入少量的涤纶或锦纶。

加入弹性纤维获得毛织物的弹性难度较大：需要特殊的纺纱设备、需要对传统的生产加工工艺进行较大的调整、成品门幅不易控制、尺寸稳定性难以保证、生产质量波动较大等，这些因素在很大程度上限制了“羊毛+弹纤”弹性毛织物的大批量生产，成本也因原料中的弹性纤维、相对的复杂工艺和批量生产的限制而提高。

(2) 弹性整理

精梳毛织物采用弹性整理是当前国内外毛精纺面料市场除羊毛加弹性纤维织物外的又一弹性面料发展趋势，其原理是以合理的纺纱工艺及上机规格设计，使织物具有足够的伸长率及回缩率，在后整理过程中采用羊毛弹性整理助剂，以弹性树脂包覆于羊毛纤维及毛纱表面，通过弹性处理工艺流程，最终获得符合要求的精梳全毛弹性织物，同时保持织物手感活络、柔软，不会降低纤维强力。

运用弹性整理剂进行弹性整理的方法虽然不需要特殊的设备，但化学助剂的使用无疑增加了成本，且延长了后整理工艺流程和整理时间（仅弹性整理一项就需要耗时3—4h）。由于使用化学助剂，从严格的意义上讲，最终产品还不能称为“天然弹性产品”。而且化学助剂的使用对人体有潜在危害，对纯毛织物的性能和风格也有一定的影响。

(3) 通过工艺手段

不加入弹性纤维，不进行弹性整理，通过纺纱、织造、后整理工艺获得毛织物自然弹性。

织物组织的交织点多，平均浮长小，织造是纱线屈曲波多，因此，织造幅缩和染整幅缩相对而言就比较大，最终使成品纬向具有弹性。故选用1/1、2/1、1/2等组织较好。

当纱线捻系数大时，则纱线结构紧密，刚度大，织物缩率小；反之则缩率较大。如果捻系数过大，则织物手感较差；而捻系数过小时，毛纱强力差，织物松烂，成品易起毛起球，服用性能差。

紧度及经纬比的大小是影响织物是否有弹性及弹性大小的重要因素。织物越紧密，经纬纱的屈曲波就越多，织物的织造缩率就越大。在紧度不变的情况下，随着经纬比的上升，织物幅缩上升，上机幅宽也应随之加大。如果紧度过大，则纱线间空隙很小，纱线的收缩无余地，也会影响织物的弹性。

除在设计产品时需要多方面综合考虑之外，后整理工艺流程及参数的选择也十分关键。

6 结语

通过前面的试验及研究探索,我们对于纯羊毛纱的拉伸力学性能、统计建模、预测技术用于质量控制有了较明确的认识,相信对于后续研究有很好的参考及借鉴价值。由于试验条件的限制,研究还存在一些不足。下面对本研究工作做几点总结。

6.1 本研究的几点结论

经过大量的试验及统计分析,研究得到了很多有价值的结论,总结如下:

(1) 16.67tex 纯毛纱的拉伸力学性能:拉伸力开始增加很大,而伸长很小,拉伸曲线斜率很大,拉伸力为 50cN,伸长为 1mm 左右时,达到屈服点;过了屈服点,曲线斜率变缓,伸长比开始阶段有显著的增加;拉伸力达到 68 cN 后,拉伸曲线接近水平,伸长从 7mm 增加到 22mm 的过程中,拉伸力仅仅增加了 2cN;继续拉伸,拉伸力和伸长增加不多,最后纱线被拉断,强力为 72.85 cN,断裂伸长为 26.5mm。

(2) 不同细度不同捻度纯毛纱的拉伸力学性能:纱线强力随着纱支增加而减小,随着捻度的增加而增大,纱线细度对强力的影响更大;断裂伸长随着捻系数的增加而增大。

(3) 纱线断裂伸长的预测需要考虑的因素很多,有些因素之间还存在相互影响,采用线性建模的预测值和实际值的误差很大,模型的优度很低,应采用非线性建模为宜。

(4) 与以前的研究相比,本预测模型考虑了更多的影响因素,例如纤维卷曲率,短纤维的含量,总牵伸倍数等。这是本研究的一个创新。

(5) 基于 SPSS 软件建立的数学模型能有效的预测纯毛单纱的断裂伸长率,提出了影响断裂伸长率的 3 个主要因素(参数):纤维束断裂伸长,纤维束强,纤维平均细度。在其它工艺条件正常的情况下,先根据产品要求(客户要求)制定纯毛单纱的断裂伸长的控制范围,再依据预测模型来进行预测和控制,特别注意对主要因素(参数)的控制和选择。这也是本研究的另一个创新之处。

(6) 预测技术作为一种质量控制手段可用于以下几个方面:预测纱线品质和纺纱性能,可以避免纺制小样产生的时间延误和原料浪费,而且可以避免因毛条选择不当而造成的不必要的损失;在满足客户要求的前提下,优化选择毛条,降低生产成本,提高经济效益;发现潜在的问题,调整生产加工工艺,逐步建立最佳的工艺。

6.2 本研究存在的不足

由于试验条件、手段及研究能力有限，本研究还存在一些不足之处，总结如下：

(1) 统计建模要求以大量的工业数据为基础，本文的数据量偏少，预测模型可能有些失真，普遍适应性不强。

(2) 运用神经网络进行预测研究是当前较流行的研究手段，本文还可以将 SPSS 软件和神经网络结合起来，综合两者的长处，建立更理想的预测模型。昆明理工大学的王德燕同志将神经网络和 SPSS 软件结合用于选矿建模，获得了预期的效果^[50]。由于时间的限制，该构想有待后续研究去实现。

参考文献

- [1]周启澄, 精梳毛纺织产品与工艺(上册)[M], 上海, 中国纺织大学出版社, 1993: 2-4
- [2]张炳城, 中国毛纺工业的回顾与展望, 第二届中国国际毛纺织会议论文汇编, 1998: 8-13
- [3]姚穆等, 毛绒纤维检验与标准[M], 北京, 中国纺织出版社, 1997: 1-3
- [4]王训该, 国内毛纺企业质量管理情况, 质量管理体系讲座, 国际羊毛局主办, 1999年10月, 4-6
- [5]张得昆、任学勤、朱宝瑜、李伟, 纺纱质量预测与信息管理系统的应用[J], 毛纺科技, 2004, 4: 17-20
- [6]杨守仁 纺纱预测技术在中国毛纺工业中的应用及其深远影响(报告) 澳大利亚联邦科学工业研究组织(CSIRO) 2002.4, 2-6
- [7]SIROLAN—YARNSPEC Worsted Yarn Properties and Spinning Performance Prediction Program, 8-12
- [8]李学桥、马莉, 神经网络·工程应用[M], 重庆, 重庆大学出版社, 1996: 2-3
- [9]胡守仁, 神经网络导论[M], 长沙, 国防科技大学出版社, 1993: 118-120
- [10]蒋宗礼, 人工神经网络导论[M], 北京, 清华大学出版社, 2001: 8-12
- [11] M.C. Ramesh.R. Rajamanickam, and.S.Jayaraman. The Prediction of Yarn tensile Properties by Using Artificial Neural Networks.J.Text.Inst. 1995, 86(3): 459-469
- [12] Luo Cheng,adams,d.l.Yarns Strength Prediction Using Neural Networks.Text.Res.J. 1995, 65(9): 495-500
- [13] F.Pynckels,P.Kickens,S.Sette,L.Van Langenhove and K.Impe ,Use of Neural Nets for Determining the Spinnability of Fibres, Journal of the Textile Institute, 1995, 86, 3.
- [14] Dean ethridge et al. Prediction of Rotor Spun Cotton Yarn Quality:A Comparision of Neural Network and Regression Algorithms.The Proceedings of the Beltwide Cotton Conference, 1996, 2: 1314-1317.
- [15] Martin .Hagan et al.Neural Network Design.PWS Publishing Company A Division of Thomson Learning.United States of America,1996
- [16]Rangaswamy r.,steven.m.,Hansen,and sundaresan j. anlysis of the modeling methodologies for predicting the strength of air-jet spun yarn[J], Text.Res.J. 1997, 67(1):39-44.
- [17]M.Dean Ethridge .Artificial Neural Network for Yarn,Fabric Making Textile Magazine(Madras), 2002,(4):79-81.

- [18] Luo Cheng and David L.Adams, Yarn Strength Prediction Using Neural Networks Part 1: Fiber Properties and Yarn Strength Relationship, Textile Research Journal, 1995, 65(9): 495-500
- [19] S. Sette, L.Boullart and RKiekens, Selfi-Organizing Neural Nets:A New Approach to Quality in Textiles ,Textile Research Journal, 1995, 65(4): 196-202
- [20] I-Shou Tsai, chung-Hug Lin, and Jeng-jong Lin, Applying an Artificial Neural Network to Pattern Recognition in Fabric Defects, Textile Research Journal , 1995, 65(3): 123-130
- [21]程文红、陆 凯, 东华大学, 利用人工神经网络进行纺纱技术预报[J], 上海毛麻科技, 2000, 1: 24-26.
- [22]王侃枫、陆 凯、黄秀宝, 精梳毛纺纱线质量预报[J], 纺织学报, 25(3): 34-35
- [23]陈俊杰、谢春萍、郝海涛, 人工神经网络纱线质量预报模型的实用化[J], 四川纺织科技, 2004, 2: 7
- [24]严智渊等, 灰色系统预测与应用[M], 南京, 江苏科学出版社, 1989: 4-12
- [25]邓聚龙, 灰色预测与决策[M], 湖北, 华中理工大学出版社, 1986: 97.
- [26]陈东生、张永宁等, 纱条不匀异点的灰色预测[J], 纺织学报, 1999, 2: 61-62
- [27]甘应进, 张永宁等, 纱条不匀灰色预测模型的建立[J], 纺织学报, 2001, 2: 10-12
- [28]姚穆等, 纺织材料学[M], 北京: 中国纺织出版社, 2000: 99-102
- [29]于伟东、储才元, 纺织物理[M], 上海, 东华大学出版社, 2002: 112-116
- [30]宋湛华等, 纱线强力与伸长率测试与应用[M], 北京, 中国纺织出版社, 1995: 27-28
- [31]宋湛华等, 纱线强力与伸长率测试与应用[M], 北京, 中国纺织出版社, 1995: 113-114
- [32]段常喜, 浅谈数学模型[J], 山西煤炭干部管理学院学报, 2002(3): 11-12
- [33]陈理荣, 数学建模导论[M], 北京, 北京邮电大学出版社, 1999: 3-5
- [34]阮桂海, SPSS for Windows 高级应用教程[M], 北京, 电子工业出版社, 1998: 24-27
- [35]卢纹岱, SPSS for Windows 统计分析[M], 北京, 电子工业出版社, 2000: 6-12
- [36]苏金明等, 统计软件 spss for windows 实用指南[M], 北京, 电子工业出版社, 2000: 24-26
- [37]贺兴时, 薛红, 应用概率统计[M], 西安, 西北工业大学出版社, 2001: 20-22
- [38]Louis G.L.,Fiori L.A.and Sands,J.E.,Blending Cottons Differing in Fiber Bundle Break Elongation,part1:Effect on the Properties of Combed Single Yarns,textile Res.J.1961,31: 43-51

- [39] Fiori, L.A., Sands, J.E., H.W. and Grant, J.N., Effect of Cotton Fiber Bundle Break Elongation and Other Fiber Properties on the Properties of a Coarse and a Medium Singles Yarn, *Textile Res. J.* 1956, 26: 553-564.
- [40] Yang S., Review of Yarnspec Prediction Algorithms, CWT Reports, 1999: 12-16
- [41] Yang S., Spinning speed effect on yarn quality, CWT Reports, 1999: 23-25
- [42] Brown, J.J., Howell, N.A., L.A. Sands, J.E., and Little, H.W., Evaluation of Yarn Properties of a High-Strength Interspecies Cotton, *Textile Res. J.* 1957, 27: 332-339.
- [43] Hunter, L.A., and Gee, E. Correlation Between Cotton Fiber Properties and Ring and Rotor Yarn Properties, Presented at International Cotton Test Conference, Bremen, 1982.
- [44] Virgin, W.P., and Wakeham, H. Cotton quality and fiber properties, part IV, *Textile Res. J.* 1956, 26, 177-191.
- [45] William T.W. and Phillips J., The effect of fiber bundle elongation of medium staple cotton on processing performance and yarn properties, *Textile Res. J.* 1966, 36, 1004-1012.
- [46] 姚金波、滑钧凯、刘建勇, 毛纤维新型整理技术[M], 北京, 中国纺织出版社, 2000: 11—12
- [47] 方雪娟. 羊毛的功能性整理新技术[J]. 纺织导报, 2000 (2): 39—40
- [48] 陈明青、董波, 精纺毛织物的弹性整理[J], 毛纺科技, 2001 (4): 40—41
- [49] 王少华、丁彩玲, 自然弹性毛织物的开发[J], 山东纺织科技, 2002 (4): 24—25
- [50] 王德燕, SPSS 统计分析软件包与神经网络相结合在选矿建模中的应用[D], 昆明理工大学, 硕士, 2003: 55—5

致 谢

在该论文完成之际，我首先要感谢导师任学勤副教授，本课题是在他的悉心指导下完成的。导师严谨的治学态度、细致的工作作风、深刻的洞察力、忘我的科研精神都对我形成了很大的熏陶，他在我做课题的过程中给予了全力的支持和详尽的指导，同时在生活上给予我无微不至的关怀和帮助。从论文的选题到最后的完成都倾注了导师大量的心血。在此，谨对导师的教导和关怀致以最衷心的感谢！

同时，我也特别感谢张得昆高级工程师对我课题工作的建议、启发和帮助，还要感谢给我支持的同学和朋友，向为我提供试验帮助的南通宏大—西工科实验室表示诚挚的谢意。

感谢答辩委员会的各位老师百忙之中抽出时间来评阅我的论文。

攻读学位期间发表的学术论文目录

[1]马志鹏、任学勤、张再兴, 浅谈形状记忆高聚物, 北京纺织, 2004 (4): 33—36

[2]马志鹏、任学勤、王香香, 羽毛纱的纺制实践, 陕西纺织, 2004 (2): 46—47

[3]马志鹏、任学勤、王香香, 带子纱的纺制实践, 广西纺织科技, 2004 (2): 19—

21

学位论文知识产权声明

本人完全了解西安工程科技学院有关知识产权的规定，即：研究生在校攻读学位期间学位论文工作的知识产权归属西安工程科技学院。本人保证毕业离校后，使用学位论文工作成果或用学位论文工作成果发表论文时署名单位仍然为西安工程科技学院。学院有权保留送交的学位论文的复印件，允许学位论文被查阅或借阅；学校可以公布学位论文的全部或部分内容，可以采用影印、缩印或其它复制手段保存学位论文。（保密的学位论文在解密后应遵守此规定）

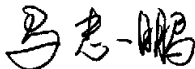
学位论文作者签名：马志鹏

指导教师签名：何学勤

日期：2005.3.20

学位论文独创性声明

秉承学校严谨的学风与优良的科学道德，本人声明所呈交的学位论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，学位论文中不包含其它人已经发表或撰写过的研究成果，不包含本人已申请学位或他人已申请学位或其它用途使用过的成果。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了致谢。
学位论文与资料若有不实之处，本人承担一切相关责任。

学位论文作者签名： 

日 期： 2005. 3. 20

附 录

d	cvd	crimp	sf	h	cvh	短纤 h	巴布	cvb	短纤 b	bt	be	energy	cvbt	毛条不匀
21.5	20.9	63.56	20.9	76.8	48.7	9.4	94.9	38.7	3	10.73	38.98	0.2408	2.21	1.2
21.6	22.7	67.64	21.3	79.7	44.6	8.5	95.4	33.8	2.6	10.33	44.4	0.2611	1.31	0.6
21.2	22.2	67.01	20.9	79.1	45.2	8.2	95.2	35.1	2.6	10.69	47.92	0.2798	2.53	0.8
21.5	23.3	67.28	21.3	77.7	44.8	8.1	93.3	34.9	2.6	10.44	45.54	0.2615	1.08	0.7
21.5	20.9	63.56	20.9	76.8	48.7	9.4	94.9	38.7	3	10.73	38.98	0.2408	2.21	0.8
21.3	21.6	68.05	20.8	84.3	39.9	3.4	97.6	32.7	1.1	10.87	46.97	0.2839	1.39	0.5
22.8	22.4	62.8	22.5	85.1	41.7	4	99.8	32.4	1.2	10.41	56.14	0.3571	1.93	1.1
23.2	22.8	62.16	22.9	82.7	44	6	98.7	33.6	1.9	10.94	44.14	0.2823	0.74	0.9
19.5	22.56	72.97	19.22	69.6	49.6	12.5	86.7	40.7	4.2	10.37	45.59	0.2621	2.04	1
21.9	22.3	68.8	21.2	69	49	11.7	85.4	39.2	4.1	9.98	44.4	0.2444	2.62	1.2
21.4	21.5	65.37	20.9	73.2	49	12.4	90.8	36.8	3.6	10.2	50.83	0.3221	1.37	0.6
19.9	23.6	68.35	19.8	76.9	42.8	6.1	90.9	37.2	4.9	10.29	45.82	0.2967	1.53	0.6
21.2	20.75	62.9	20.58	77.9	44.5	6.2	93.3	36.4	2	10.12	43.8	0.258	0.62	0.7
20.2	20.7	69.76	19.64	68.3	50.4	14.8	75.6	35.2	3.2	10.2	47.23	0.2711	1.54	0.6
19.9	21.1	73.62	19.4	75.9	44.1	7.1	90.6	35.2	2.4	10.07	40.1	0.2286	1.97	0.6
20.5	21	66.15	20	81.1	44.3	7.5	96.9	34.3	2.2	10.1	41.69	0.2724	2.01	0.6
20	20	70.92	19.3	77.4	45.9	8.3	93.6	35.8	2.7	10.08	43.31	0.2512	0.93	0.5
20.5	21.5	68.7	19.9	77.3	45.5	7.3	93.3	36.2	2.3	9.47	46.65	0.2953	1.68	0.6
20.2	22.39	67.52	19.87	68	51.7	14.4	86.2	40.6	4.9	9.84	41.47	0.2344	1.9	1
20.1	21.39	65.55	19.58	59.3	47.1	16.1	70.2	40.7	5.9	10.47	40.94	0.2411	2.67	2
19.6	21.94	74.76	19.24	66.6	49.7	12.9	83	40.7	4.7	9.96	44.75	0.2469	2.27	1.5

总并合	总牵伸	draft	speed	捻度	捻系数	钢丝圈	前隔距	实测纱支	实捻	ye
12800	674816.5	15.4	6200	560	88.1	0.047	3	40.45	578.6	11.35
12800	674816.5	16.16	6500	560	88.89	0.0475	3	40.85	579.6	12.9
12800	674816.5	17.58	6800	600	95.23	0.0475	3	42.96	618.6	11.15
12800	674816.5	17.58	6800	600	95.23	0.0475	3	43.18	618.6	11.68
12800	674816.5	16.85	6000	600	90.97	0.0475	3	44.05	629	11.51
20160	1062720	18.09	6500	600	90.5	0.0402	2.5	44.72	808.8	11.4
11200	64072.5	19.22	8800	650	89.9	0.0402	3	51.7	653.6	12.58
11200	64072.5	19.22	9000	650	89.9	0.0402	3	52.48	653.6	11.13
20160	1191120	18.78	6400	680	90.4	0.0402	3	56.2	711.2	10.92
10240	732108.6	17.47	6400	680	86.73	0.0475	2	59.88	700	7.06
10240	855068.7	17.73	7200	720	88.96	0.035	3	61.57	738.8	8.46
10240	855068.7	17.73	7200	720	88.96	0.035	3	61.65	719.4	7.8
10240	732706.8	18.08	6700	680	85.3	0.035	2	64.1	690.8	6.37
10240	789125	17.06	6600	680	83.96	0.0299	2	65.3	684.2	7.27
10240	855068.7	15.96	7400	680	84.02	0.0299	3	66.14	673	11.07
10240	855068.7	16.33	7400	720	88.96	0.035	3	66.93	719.4	8.51
10240	855068.7	16.97	6800	720	88	0.0251	2	68.21	731.2	7.61
10240	855068.7	17.92	6800	720	88	0.0251	2	68.31	749.8	6.43
18816	1569439	17.23	7200	760	91.1	0.0299	2	68.9	760.4	6.05
18432	1384665	17.38	7500	680	81.51	0.0299	2	68.96	703	5.79
21952	1831012	17.21	6600	680	81.63	0.0299	2	69.16	702.8	7.09